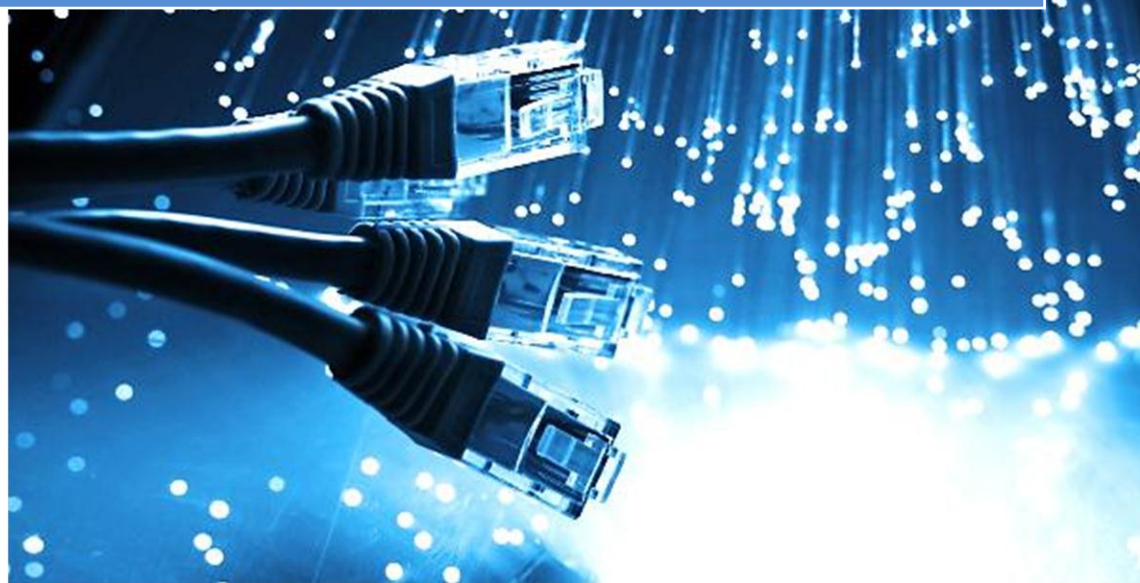




**АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ БИЗНЕС КОЛЛЕДЖ»**

Ю.А. ЯПАРОВА

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Технология физического уровня
передачи данных»**





**АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ БИЗНЕС КОЛЛЕДЖ»**

Ю. А. ЯПАРОВА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**«ТЕХНОЛОГИЯ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ»**

Калининград

2014

Автор: Ю.А. Япарова - преподаватель АНО «Калининградский бизнес колледж»

Япарова Ю.А. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ». – Для
студентов специальности 230111 «Компьютерные сети».

Калининград: АНО «Калининградский бизнес колледж», 2014.- 110 с.

Лабораторный практикум содержит методические указания и задания лабораторных работ, а также справочный материал. Данное пособие подходит как для самостоятельного изучения, так и для проведения занятий в рамках курса «Технология физического уровня передачи данных».

Лабораторная работа №1:

«Исследование непрерывных электрических сигналов и их параметров»

Цель работы: исследование импульсного сигнала и его параметров с помощью осциллографа

Общие сведения из теории

1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Электронный осциллограф является одним из наиболее универсальных измерительных приборов, предназначенных для визуального наблюдения электрических сигналов и измерения их параметров. Исследуемый сигнал отображается на экране электронно-лучевой трубки в виде светящихся линий или фигур, называемых осциллограммами. Осциллограмма представляет собой функциональную зависимость двух или трех величин $y=F(x)$ или $y=F(x,z)$, каждая из которых является, в свою очередь, функцией времени: $y(t)$, $x(t)$, $z(t)$.

Упрощенная структурная схема осциллографа (рис 1.1) состоит из двух каналов формирования сигналов по координатам X и Y и канала Z , предназначенного для модуляции яркости луча электронно-лучевой трубки.

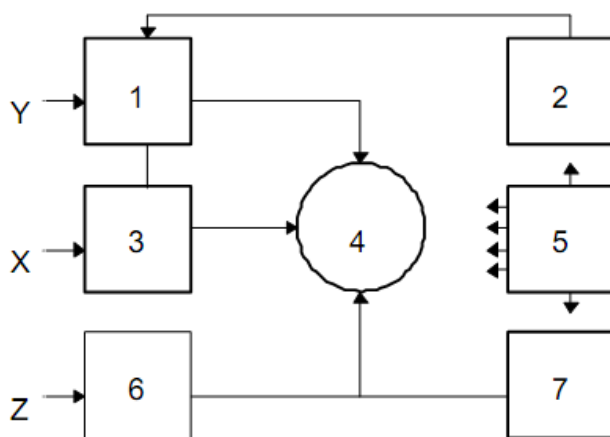


Рис. 1.1 - Общая функциональная схема осциллографа

1 - канал вертикального отклонения; 2 - калибратор амплитуды;
3 - канал горизонтального отклонения; 4 - электронно-лучевая трубка; 5 - блок питания; 6 - канал управления яркостью; 7 - калибратор длительности.

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) - определяет принцип действия прибора, и от ее характеристик в значительной мере зависят параметры и возможности применения осциллографа в целом. В осциллографах используют, главным образом, ЭЛТ с электростатическим управлением лучом.

Принцип наблюдения формы напряжения на экране осциллографической трубки в общих чертах можно представить следующим образом.

Исследуемое напряжение является функцией времени, отображаемой в прямоугольных координатах графиком $y = f(t)$. Две пары пластин ЭЛТ отклоняют электронный луч в двух взаимно перпендикулярных направлениях, которые можно рассматривать как координатные оси. Поэтому для наблюдения на экране ЭЛТ исследуемого напряжения необходимо, чтобы луч отклонялся по горизонтальной оси пропорционально времени, а по вертикальной оси - пропорционально исследуемому напряжению (в каждый момент времени). С этой целью к горизонтально - отклоняющим пластинам подводят пилообразное напряжение, которое заставляет луч перемещаться по горизонтали с постоянной скоростью слева направо и быстро возвращаться обратно. Расстояние, проходимое лучом вдоль горизонтальной оси, получается пропорциональным времени.

Исследуемое напряжение подается на вертикально - отклоняющие пластины и, следовательно, положение луча в каждый момент времени однозначно соответствует значению исследуемого сигнала в этот момент. За время действия пилообразного напряжения луч вычерчивает кривую исследуемого сигнала. Наблюдаемое на экране изображение называют **осциллограммой**.

Функции, выполняемые основными узлами осциллографа:

Канал вертикального отклонения y , или канал сигналов, служит для преобразования напряжения исследуемого сигнала в соответствующее ему вертикальное отклонение луча. Он состоит из входного устройства, усилителя вертикального отклонения и вертикально - отклоняющих пластин ЭЛТ.

Входное устройство состоит из аттенюатора, позволяющего ослабить исследуемый сигнал в целое число раз и согласовать входное сопротивление канала сигнала с волновым сопротивлением кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал; катодного повторителя, устраняющего влияние канала вертикального отклонения на источник измеряемого сигнала и позволяющего получить высокое входное сопротивление; линии задержки (в импульсных осциллографах), обеспечивающей подачу исследуемого импульса на вертикально - отклоняющие пластины с задержкой относительно начала горизонтально - отклоняющего напряжения, что дает возможность хорошо наблюдать фронт импульса.

Усилитель вертикального отклонения усиливает исследуемый сигнал, подаваемый со входного устройства, до уровня, позволяющего получить достаточное вертикальное отклонение луча (высоту изображения сигнала) на экране ЭЛТ.

Канал горизонтального отклонения x или канал развертки, служит для создания и передачи напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени. Вторая функция этого канала - усиление сигнала, синхронизирующего напряжение горизонтального отклонения.

В его состав входят: генератор напряжения горизонтального отклонения; усилитель, усиливающий вырабатываемое генератором напряжение до уровня, необходимого для отклонения луча в горизонтальном направлении; горизонтально - отклоняющие пластины; схема синхронизации, предназначенная для преобразования, усиления и регулирования амплитуды, а также изменения полярности синхронизирующих напряжений. Иногда на входе канала горизонтального отклонения имеется аттенюатор.

Канал управления яркостью z предназначен для передачи со входа z на управляющий электрод ЭЛТ сигналов, модулирующих яркость свечения. Обычно он состоит из усилителя, который, помимо усиления, позволяет изменять полярность модулирующего напряжения. В этот же канал чаще всего подается напряжение от калибровочного генератора меток времени.

Калибраторы применяются для измерения параметров исследуемого сигнала. Как правило, ими являются устройства для измерения напряжения и длительности.

Блок питания состоит из двух выпрямителей - высоковольтного, питающего высоким напряжением ЭЛТ, и низковольтного, питающего все узлы осциллографа и низковольтные электроды трубки, а также схемы регулировок напряжений, управляющих яркостью, фокусировкой и положением светящегося пятна на экране ЭЛТ.

2. ВИДЫ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ РАЗВЕРТОК

Различают несколько видов разверток, используемых в осциллографических приборах. В их названии нет единообразия, но имеется определенная система. Если развертку получают в результате подачи развертывающего напряжения на одну пару отклоняющих пластин (как правило, горизонтально - отклоняющих), то ее называют по форме развертывающего напряжения - пилообразная, экспоненциальная, синусоидальная. Когда же развертка создается подачей напряжения на обе пары пластин одновременно (и на радиально - отклоняющий электрод - в специальных трубках), ее название соответствует форме траектории, прочерчиваемой лучом: круговая, эллиптическая, спиральная, радиальная. При любой форме развертывающего напряжения, подаваемого на одну пару пластин, след луча, видимый наблюдателю, представляет собой прямую линию.

2.1. Линейная непрерывная развертка

Для развертки этого вида характерно непрерывно повторяющееся перемещение луча по горизонтали, пропорциональное времени. Она создается пилообразным, т.е. линейно изменяющимся напряжением (Рис.1.2).

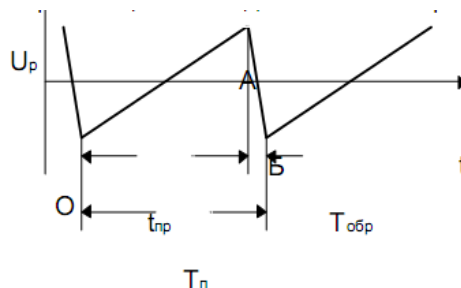


Рис. 1.2. - Линейная развертка

При минимальном значении развертывающего напряжения (точка O) луч находится в крайнем левом положении на горизонтальной прямой экрана. По мере роста пилообразного напряжения луч перемещается слева направо с постоянной скоростью. Это перемещение, называемое прямым ходом луча, происходит в течение времени t_{np} , пока развертывающее напряжение не достигнет максимальной величины (точка A). При надлежащем выборе амплитуды пилообразного напряжения U_m луч за время прямого хода t_{np} переместится в крайнее правое положение экрана. Когда напряжение спадает от A до B, луч совершает обратный ход - за время $t_{обр}$ быстро возвращается в исходное положение, чтобы в следующий период повторить цикл, состоящий из прямого и обратного хода.

Так как каждый последующий цикл пилообразного напряжения непрерывно следует за предыдущим, то рассматриваемая развертка является линейной непрерывной. Очевидно, генератор такой развертки должен работать в автоколебательном режиме.

Основные характеристики линейной непрерывной развертки: период $T_n = t_{np} + t_{обр}$ или частота $F = 1 / T_n$ развертки и максимальное отклонение луча за период, определяемое амплитудой развертывающего напряжения. Для получения высококачественного изображения исследуемого процесса необходимо выполнение условия $t_{обр} \ll t_{np}$. В современных осциллографах это требование всегда выполняется. Кроме того, луч гасят при обратном ходе или подсвечивают при прямом. Практически можно считать, что $T_n \gg t_{np}$. Чтобы линия развертки или изображение сигнала не мерцали при наблюдении, луч должен прочерчивать одну и ту же траекторию не менее 15-20 раз в секунду. При этом используется инерционная способность человеческого глаза сохранять зрительное впечатление примерно 1/15 сек. Изображение представляется наблюдателю неподвижным, если луч при каждом

прямом ходе прочерчивает одну и ту же кривую. Это достигается тогда, когда период развертывающего напряжения T_n равен или кратен периоду исследуемого сигнала T_u , т.е. $T_n = T_u$ или $T_n = nT_u$ (1).

Напомним, что два колебания, у которых частоты (периоды) равны или кратны и изменению одной из частот соответствует пропорциональное изменение второй частоты, называются синхронными (одновременными). Таким образом, для получения неподвижного изображения напряжение развертки и исследуемое напряжение должны быть синхронными. Это достигается синхронизацией напряжения развертки исследуемым сигналом или внешним напряжением с периодом, соответствующим условию (1).

Важно отметить, что пилообразное напряжение не бывает строго линейным. Часто оно изменяется по экспоненте, близкой к прямой, причем степень линеаризации зависит от схемы генератора развертки. При недостаточно большой постоянной времени экспоненты форма наблюдаемого напряжения искажается.

В осциллографах, служащих для наблюдения формы колебания, нелинейность развертки характеризуется $\gamma \approx 10\%$, а в осциллографических измерителях временных интервалов значительно меньше: порядка десятых и сотых долей процента.

$$C = \frac{h}{T_{\text{эсд}}}$$

выраженной в мм/мксек или см/мксек ($h\Gamma$ - чувствительность трубки к горизонтальному отклонению, мм/в).

Для того, чтобы при ждущей развертке фронт исследуемого импульса был хорошо виден, необходимо сдвинуть его относительно начала развертки, т.е. сделать так, чтобы момент начала горизонтальной развертки опережал момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально - отклоняющие пластины ЭЛТ.

1.3. Синхронизация непрерывной развертки

При исследовании периодических напряжений для получения неподвижного изображения на экране трубки необходимо, чтобы периоды развертывающего и исследуемого напряжения были равны или кратны. Осуществление этого условия требует принятия специальных мер, так как частота колебаний релаксационных генераторов вообще и генераторов пилообразного напряжения в частности нестабильна по различным причинам: из-за колебаний питающих напряжений, нестабильности параметров схемы,

флуктуационных явлений и т.п. Да и частота исследуемого сигнала не всегда достаточно стабильна.

Получить неподвижное изображение можно только в том случае, если удастся «навязать» генератору развертки частоту колебаний, при которой его напряжение и напряжение исследуемого сигнала будут синхронными.

Процесс, в результате которого вынуждают генерировать колебания точно с частотой внешнего напряжения или кратной ей, называется синхронизацией (захватыванием частоты). Если частоты внешнего и развертывающего напряжений близки, то частота развертки «подтягивается» к частоте синхронизирующего напряжения.

В осциллографах применяют три вида синхронизации: внутреннюю, т.е. исследуемым напряжением, внешнюю, осуществляемую с помощью внешнего источника, напряжение которого подается на генератор развертки, или от сети. Переключатель рода синхронизации в положении

«Внутренняя» соединяет вход усилителя синхронизации с каналом вертикального отклонения, чем достигается подача исследуемого напряжения в схему синхронизации. В положении «Внешняя» вход усилителя синхронизации подключается к зажимам, на которые поступает синхронизирующее напряжение от внешнего источника. При положении переключателя «От сети» ко входу усилителя подводится небольшое напряжение от сети питания, снимаемое обычно с дополнительной обмотки силового трансформатора осциллографа. Для того, чтобы генератор развертки хорошо синхронизировался, необходимо должным образом выбирать амплитуду синусоидального напряжения. В случае очень малой амплитуды синхронизация легко нарушается при небольшом изменении одного из периодов. Чересчур большая амплитуда синхронизирующего напряжения приводит к значительному уменьшению амплитуды пилообразного напряжения и даже может вызвать его искажения: развертка получается с неодинаковыми периодами.

Кроме того, при синхронизации на субгармониках из-за слишком большой амплитуды может получаться неправильный коэффициент кратности периодов. Чтобы иметь возможность правильно выбрать амплитуду синхронизирующего напряжения, в усилителе синхронизации осциллографа применен орган регулировки амплитуды ручка «Синхронизация».

1.4. Синхронизация ждущей развертки

В самой сущности ждущей развертки заложена необходимость жесткой синхронизации. Так как в качестве генератора развертки применяется одновибратор, то синхронизация достигается возбуждением его либо исследуемым сигналом, либо синхронным с ним импульсом.

При синхронизации ждущей развертки необходимо создать условие хорошего наблюдения фронта исследуемого импульса - сделать так, чтобы начало напряжения развертки отклоняющего луча по горизонтали несколько опережало момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально- отклоняющие пластины. Такая задача решается двумя способами:

1. Применением линии задержки в канале вертикального отклонения. В этом случае (рис.1.3) генератор ждущей развертки запускается коротким импульсом 2, получающимся в результате дифференцирования фронта исследуемого импульса 1, подаваемого из цепи, предшествующей линии задержки.

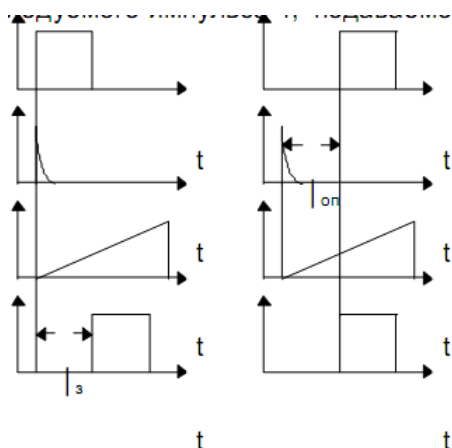


Рис.1.3. - Синхронизация ждущей развертки

На вертикально - отклоняющие пластины фронт задержанного импульса 4 поступает с запаздыванием относительно начала действия напряжения развертки 3 на промежуток времени, определяемый линией задержки. Следует иметь в виду, что применение линии задержки в канале вертикального отклонения приводит к некоторым искажениям наблюдаемого импульса. В современных осциллографах высокого класса используют линии задержки, вносящие малозаметные искажения.

2. Запуском генератора ждущей развертки и устройства, импульс которого подлежит наблюдению, одним и тем же синхронизирующим импульсом. При этом исследуемый импульс 1 не задерживают в канале вертикального отклонения (рис. 1.3,б), а строят так систему запуска, чтобы либо генератор развертки запускался коротким импульсом 2 немного раньше, чем исследуемое устройство, либо при одновременном запуске использовалась задержка исследуемого импульса 1 относительно момента запуска в самом устройстве. В обоих случаях начало действия развертывающего напряжения 3 будет опережать на время $t_{оп}$ момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально- отклоняющие пластины (импульса 4 на рис.1.3).

При использовании второго способа имеется возможность подавать исследуемый импульс непосредственно на вертикально-отклоняющие пластины

(если, разумеется; амплитуда импульса достаточна для значительного отклонения луча). Тем самым исключаются искажения, которые могут вноситься линией задержки и остальными узлами канала вертикального отклонения.

В некоторых осциллографических приборах, например, С1-4, С1—7, И2-5, внутри имеется генератор синхронизирующих импульсов. Последние непосредственно возбуждают генератор ждущей развертки и подаются с задержкой на специальное выходное гнездо, откуда снимаются для запуска исследуемого устройства.

Во многих случаях синхронизирующие импульсы поступают от отдельного внешнего источника или из первых каскадов исследуемого устройства.

При синхронизации генератора ждущей развертки нужно учитывать, что его запуск должен осуществляться короткими импульсами с крутым фронтом. Поэтому на выходе усилителя синхронизации включают дифференцирующую цепочку. Возможность синхронизации ждущей развертки импульсами любой полярности обеспечивается специальным каскадом схемы синхронизации, который в зависимости от положения переключателя рода развертки передает запускающие импульсы либо с неизменной полярностью, либо с изменением на противоположную.

3. МНОГОЛУЧЕВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Многолучевые осциллографы применяются для одновременного наблюдения нескольких процессов. Основным узлом, отличающим подобный осциллограф от обычного, является специфическая электроннолучевая трубка.

Наиболее распространены двухлучевые приборы. Конструкция двухлучевой ЭЛТ состоит из стеклянной колбы, внутри которой помещены две отдельные электронно-оптические системы и соответственно две системы отклоняющих пластин. Эти системы образуют два луча, действующих на один общий экран. Таким образом, двухлучевая трубка представляет собой как бы две отдельные ЭЛТ, помещенные в одну колбу с общим экраном, на котором можно наблюдать одновременно две осциллограммы.

В осциллографе имеется один общий генератор развертки, напряжение которого подается через общий усилитель горизонтального отклонения на обе пары горизонтально-отклоняющих пластин. Каналов вертикального отклонения в осциллографе два. Каждый из них содержит все узлы канала вертикального отклонения однолучевого осциллографа.

Калибратор длительности, измеритель амплитуды и предусматриваемый иногда генератор импульсов, синхронизирующих запуск ждущей развёртки - единые. Принципиально работа двухлучевого прибора не отличается от работы

обычного электронного осциллографа. Двухлучевые осциллографы, примерами которых служат приборы С1-7, С1-16, С1-17 и др., удобно применять при исследовании нестационарных процессов, а также искажений импульсов, получающихся в результате прохождения через некоторую цепь (один луч вычерчивает входной импульс, а второй - выходной), и т.д.

Два процесса (несколько процессов) одной и той же частоты можно наблюдать и на экране обычного осциллографа, если воспользоваться специальным электронным коммутатором. С помощью последнего исследуемые напряжения попеременно подключают ко входу Y осциллографа и на экране одновременно наблюдают две (несколько) осциллограммы.

Так, например, электронный коммутатор С1-15/3, применяемый в осциллографе С1-15, делает этот прибор эквивалентным широкополосному двухлучевому осциллографу, а при подключении указанного коммутатора двухлучевому осциллографу С1-17 последний становится эквивалентным четырехлучевому прибору.

4. ТЕХНИКА ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Основным требованием, предъявляемым к каждому измерительному прибору, является минимальная погрешность измерений. При исследовании формы напряжения с помощью осциллографа оно сводится к требованию минимального искажения, т.е. наиболее полного соответствия осциллограммы истинной форме напряжения. Реализация этого требования прежде всего зависит от выбора осциллографа. Необходимо также выполнить ряд условий неискаженного наблюдения, заключающихся в правильном подключении осциллографа к измеряемому объекту, выборе режимов работы прибора, осуществлении синхронизации развертки с исследуемым сигналом, получении оптимальных размеров изображения - высоты и ширины и др.

4.1. Наблюдение периодических сигналов

Для получения хорошего изображения на экране ЭЛТ необходимо правильно выбирать режим работы осциллографа в зависимости от характера и параметров исследуемого сигнала.

Прежде всего выбирают вид развертки. Исследуя периодические процессы, естественно, применяют линейную непрерывную развертку. При наблюдении одного периода частота развертки должна быть равна частоте исследуемого напряжения, при наблюдении n периодов - в n раз ниже.

Минимальная частота развертки должна быть такой, чтобы изображение не мерцало на экране трубки с коротким или средним послесвечением.

При наблюдении периодических процессов наиболее целесообразно применять внутреннюю синхронизацию, т.е. синхронизацию исследуемым сигналом. Синхронизация от сети удобна при осциллографировании напряжений, частоты которых равны или кратны частоте сети, например, выходных напряжений трансформаторов, питаемых от сети, пульсацией выпрямителей и т.п. Внешнюю синхронизацию используют сравнительно редко, в том случае, если исследуемый сигнал непригоден по форме для синхронизации или имеет слишком малую амплитуду. Методика синхронизации такова: сначала устанавливают частоту развертки немного ниже частоты исследуемого сигнала, затем, установив малую амплитуду синхронизирующего напряжения, постепенно увеличивают её до получения хорошей синхронизации - неподвижного изображения на экране ЭЛТ.

Если используется развертывающее напряжение от внешнего источника, то его подают на вход Х осциллографа, выключая внутренний генератор развертки. Амплитуда внешнего напряжения должна позволять растянуть изображение на значительную часть экрана.

Высота изображения должна быть удобной для наблюдения. Но её не следует устанавливать слишком большой, так как могут появиться искажения изображения, обусловленные нелинейностью отклонения луча на краях экрана. Высоту регулируют с помощью аттенюатора, должным образом выбирая коэффициент деления, и изменением усиления в канале вертикального отклонения. В некоторых случаях при достаточно большой амплитуде исследуемого напряжения имеет смысл подавать его непосредственно на вертикально-отклоняющие пластины. Это особенно целесообразно, когда частота исследуемого напряжения превосходит верхний предел полосы пропускания усилителя канала вертикального отклонения.

4.2. Наблюдение импульсных процессов

Для исследования однократных импульсных сигналов и периодически повторяющихся одиночных импульсов с большой скважностью или кодовых групп импульсов применяется ждущая развертка.

Скорость развертки выбирают так, чтобы изображение сигнала или его части растягивалось почти на весь экран. Изображение растягивается тем больше, чем выше скорость развертки.

Синхронизировать ждущую развертку можно исследуемым и внешним импульсами в зависимости от условий наблюдения. Если используется линия задержки канала вертикального отклонения осциллографа, то генератор развертки синхронизируют исследуемым сигналом.

При достаточно большой амплитуде осциллографируемый импульс целесообразно подавать непосредственно на вертикально - отклоняющие пластины ЭЛТ, так как при этом исключаются искажения, вносимые узлами канала вертикального отклонения. Особенно важно пользоваться этой возможностью, когда необходимо исследовать короткие импульсы, спектры которых шире полосы пропускания усилителя вертикального отклонения. В подобных случаях ввиду отсутствия задержки сигнала по отношению начала развертки синхронизация исследуемым сигналом неэффективна, так как при этом не будет виден фронт импульса. Для неискаженного наблюдения требуется внешний синхронизирующий импульс.

Если в осциллографе имеется внутренний импульсный генератор, то синхронизация обеспечивается тем, что он непосредственно возбуждает генератор ждущей развертки, в то время как для запуска исследуемого устройства используется задержанный синхронизирующий импульс.

Осциллографируя импульсы, яркость уменьшают настолько, чтобы пятно, наблюдаемое левее фронта импульса, исчезло или было плохо видно. Если яркость изображения импульса недостаточна, пользуется выдвижным тубусом.

В случае наблюдения однократных сигналов, импульсных напряжений с большой скажностью, всевозможных быстропротекающих процессов яркость свечения отдельных участков осциллограммы получается недостаточной. Особенно плохо различимы фронты импульсов. Это обусловлено тем, что яркость свечения обратно пропорциональна скорости движения луча. Кроме того, яркость уменьшается по мере отклонения луча от горизонтальной оси экрана к периферии трубки, что объясняется уменьшением плотности тока в электронном луче. Таким образом, участки осциллограммы, прочерчиваемые лучом с большой скоростью, получаются весьма бледными. При большой крутизне фронты и спады импульсов могут совсем не наблюдаться.

В импульсных осциллографах на время основного хода луча на управляющий электрод трубки подается положительный прямоугольный импульс подсвета, получаемый от генератора ждущей развертки. Тем не менее изображения крутых фронтов импульсов остаются сравнительно бледными.

Поэтому в тех случаях, когда нужно детально исследовать форму импульсов и имеется возможность изменения частоты их следования, наблюдение следует вести при повышенной частоте, что способствует увеличению яркости.

Для исследования быстропротекающих процессов применяют ЭЛТ с длительным послесвечением и фоторегистрацию осциллограмм.

4.3. Измерение амплитуды напряжения

При измерении амплитуды исследуемое напряжение подают на вход У осциллографа и регулировкой коэффициента деления аттенюатора и усиления в канале вертикального отклонения устанавливают удобную для измерения высоту изображения сигнала. Обычно для этого используют горизонтальные линии или клетки масштабной сетки, нанесенной на прозрачном диске, который расположен перед экраном ЭЛТ. Затем сравнивают высоту изображения измеряемого сигнала с отклонением луча, вызываемым калиброванным напряжением.

Методика сравнения в различных осциллографах неодинакова. Иногда она сводится к следующему.

Запомнив коэффициент деления переключателя аттенюатора, соответствующий установленной высоте изображения сигнала (например, 1:10), и не меняя усиления, подают на вход усилителя вместо сигнала вспомогательное напряжение от источника, находящегося внутри осциллографа. Регулировкой амплитуды вспомогательного напряжения добиваются, чтобы высота его изображения составляла такое же количество клеток масштабной сетки, какое ранее занимало изображение измеряемого сигнала.

Если вспомогательное напряжение калибровано, как например, в осциллографе С1-5, то по шкале потенциометра, изменяющего амплитуду, делают отсчет, который переводят в показание умножением на знаменатель коэффициента деления (в нашем примере на 10). В тех приборах, где вспомогательное напряжение заранее не калибровано, его измеряют электронным вольтметром, имеющимся в осциллографе.

4.3. Измерение длительности импульса

Длительность импульса измеряют различными способами. Чаще всего применяют калиброванные по длительности развертки или калибровочные метки. Рассмотрим методику измерения длительности с помощью калиброванных меток. Их получают в результате подачи напряжения,

вырабатываемого калибратором, на управляющий электрод, (катод) ЭЛТ. Это напряжение модулирует яркость: положительные полупериоды напряжения, повышающие потенциал управляющего электрода относительно катода, вызывают повышение яркости; отрицательные полупериоды гасят луч. Если на вертикально - отклоняющие пластины подан исследуемый импульс, то при включении генератора меток на экране будет наблюдаться пунктирная кривая. Расстояние между серединами двух ярких (темных) меток равно периоду напряжения генератора меток. Таким образом, период определяет цену метки.

Длительность исследуемого импульса определяется произведением числа меток, укладываемых на измеряемом участке, на цену метки. Абсолютная погрешность измерения $\pm 0,5$ метки. Для уменьшения относительной погрешности измерения длительности желательно иметь большое число меток. Однако при очень большом количестве соседние метки сливаются и отсчет становится невозможным.

4.5. Регистрация осциллограмм

При исследовании одиночных импульсов или периодических импульсных процессов с большой скважностью, а также других сигналов, требующих частоты развертки 5 -10 Гц, для визуального наблюдения осциллограммы необходимы трубки с длительным послесвечением. Наиболее удобным способом регистрации таких процессов является фотографирование, чаще всего осуществляемое с помощью фотоаппарата. Иногда применяют контактный способ, при котором фоточувствительная бумага или пленка прикладывается вплотную к экрану ЭЛТ.

Существуют также запоминающие трубки с видимым изображением (электронно-лучевые трубки - потенциалоскопы), работа которых сходна с работой запоминающих ЭЛТ вычислительных машин.

Записываемый сигнал хранится в форме потенциального рельефа и может быть впоследствии воспроизведен путем считывания рельефа электронным лучом. Однократный процесс запоминается такой трубкой на длительное время. Записанный сигнал может сохраняться весьма долго, если электронный луч заперт или осциллограф полностью выключен. Имеется возможность последовательно запоминать несколько процессов (без нарушения предыдущих записей) и впоследствии считывать все записи одновременно. Ненужные записи могут быть мгновенно стерты.

5. ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЕ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Осциллографы широкого применения непригодны для исследования импульсов с малой длительностью и небольшой высотой. Причина заключается в том, что полоса частот, пропускаемая каналом вертикального отклонения этих осциллографов, недостаточна для неискаженного воспроизведения формы импульса, особенно его фронта.

Кроме того, конечное время пролета электронов и наличие паразитных параметров отклоняющих пластин и их выводов вызывают дополнительные частотные ограничения. В скоростных осциллографах используются сверхширокополосные усилители с распределенным усилением и электронно - лучевые трубки с отклоняющими системами, работающими по принципу бегущей

волны. Это позволяет получить полосу пропускания в несколько гигагерц. Однако такие осциллографы имеют малую чувствительность, очень сложны, дороги и неудобны в эксплуатации. Таким образом, с помощью универсальных и скоростных осциллографов невозможно проникнуть в область наносекундных импульсов и сверхвысокочастотных колебаний. Для их исследования предложен стробоскопический метод осциллографирования, на основе которого созданы осциллографы на обычных электронно-лучевых трубках без широкополосных усилителей, сочетающие высокую чувствительность и широкую эквивалентную полосу пропускания.

В стробоскопических осциллографах, как и в известных механических и электрических стробоскопах, происходит кажущееся замедление быстропротекаемого процесса, т.е. трансформируется масштаб времени.

Поступающие на вход стробоскопического осциллографа сигналы последовательно измеряются (считываются) в точках при помощи коротких стробирующих импульсов, длительность которых $|_{стр}$. Последовательность измерения достигается путем автоматического сдвига во времени стробимпульса на интервал Δt в пределах длительности сигнала $|$ или в пределах его периода следования T_c .

Интервал Δt называется шагом считывания; его длительность зависит от числа точек считывания, $\Delta t = | / n = T_c / n$. Очевидно, что длительность строб-импульса должна быть много меньше шага считывания: $|_{стр} \ll \Delta t$.

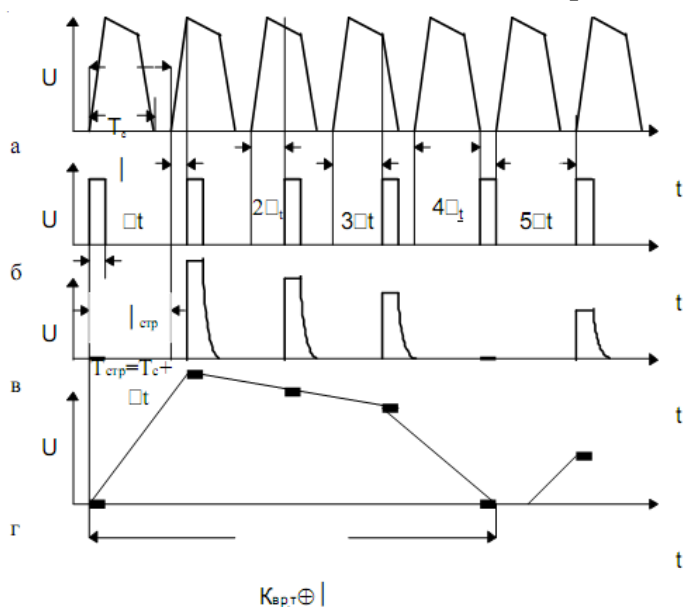


Рис. 1.4. - Принцип стробоскопического осциллографирования.

- а - исследуемый сигнал,
- б - стробирующие импульсы,
- в - модулированные импульсы,
- г - осциллограмма.

Сигнал и строб - импульсы (Рис.1.4 а,б) подаются в смеситель осциллографа, на выходе которого возникают импульсы напряжения, высота которых пропорциональна мгновенным значениям исследуемого сигнала в точках измерения (считывания) (Рис.1.4 в). Огибающая этих импульсов (Рис.1.4 г) повторяет форму исследуемого сигнала. Таким образом, исследуемый сигнал «растягивается» во времени в несколько раз и во столько же раз расширяется эквивалентная полоса пропускания осциллографа. Для обеспечения автоматического сдвига стробирующих импульсов их период следования должен отличаться от периода следования сигнала точно на шаг считывания $T_{стр} = T_c + \Delta t$. Считывание можно производить не в каждый период сигнала, а через m периодов, в этом случае период следования строб- импульса должен быть равен $T_{стр} + m \cdot T_c + \Delta t$, где $m = 1, 2, 3, \dots$.

Растяжку сигнала во времени и эквивалентное расширение полосы пропускания частот осциллографа удобно характеризовать коэффициентом трансформации

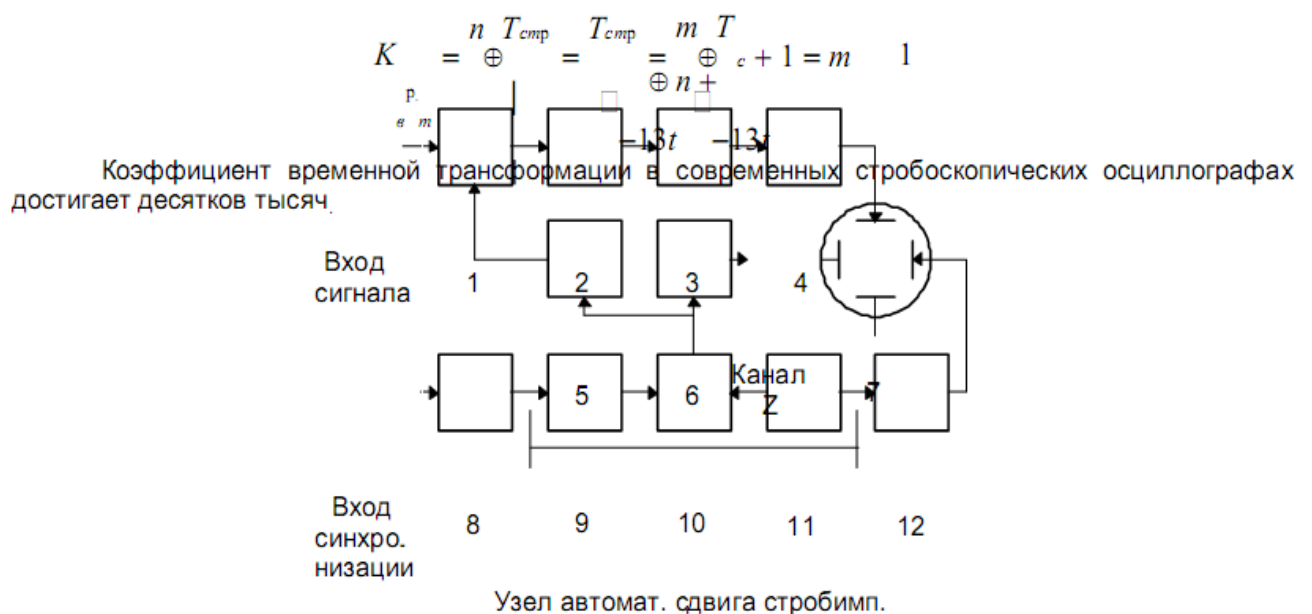


Рис.1.5.- Структурная схема стробоскопического осциллографа
 1 - смеситель, 2 - усилитель, 3 - расширитель, 4 - усилитель Y,
 5 - генератор стробирующих импульсов, 6 - блок подсветки, 7 -
 ЭЛТ, 8 - блок формирования, 9 - генератор «быстрой пилы», 10 -
 блок сравнения, 11 - генератор «медленной пилы», 12 -
 усилитель X.

Структурная схема стробоскопического осциллографа представлена на рис.1.5. Запускающие импульсы (это может быть и исследуемый сигнал) поступают через вход синхронизации на формирующее устройство, где они преобразуются в короткие импульсы, форма и полярность которых не зависят от вида запускающих импульсов (Рис.1.6.). Для возможности осуществления таких преобразований формирующее устройство состоит из ослабителя,

усилителя, инвертора, ограничителя и делителя частоты. Сформированные импульсы используются для синхронизации всех остальных узлов осциллографа и поэтому называются синхронизирующими.

Для получения последовательности строб - импульсов со сдвигом каждого последующего относительно предыдущего на интервал Δt синхронизирующий импульс запускает устройство автоматического сдвига, состоящее из генератора пилообразного напряжения с быстрым нарастанием - «быстрой пилы», генератора пилообразного напряжения с медленным нарастанием - «медленной пилы» и блока сравнения.

Длительность «быстрой пилы» должна быть равна длительности или периоду следования сигнала, а «медленной» - периоду следования строб - импульсов, умноженному на число точек считывания. Отношение длительности «медленной пилы» к длительности «быстрой» равно коэффициенту временной трансформации. Напряжения «быстрой» и «медленной пилы» поступают в блок сравнения, и при их равенстве возникает импульс, запускающий генератор строб - импульсов и прекращающий работу генератора «быстрой пилы». При каждом последующем синхронизирующем импульсе момент запуска генератора строб - импульсов сдвигается относительно начала «быстрой пилы» на интервал Δt .

Исследуемый сигнал поступает через коаксиальный разъем в смеситель, который является единственным сверхвысокочастотным широкополосным узлом стробоскопического осциллографа. Смеситель выполняют по односторонней схеме (Рис.1.7). Диод устанавливают в такой режим, при котором он закрыт в отсутствие или при наличии исследуемого сигнала и открывается только при поступлении стробирующего импульса на время, равное длительности последнего.

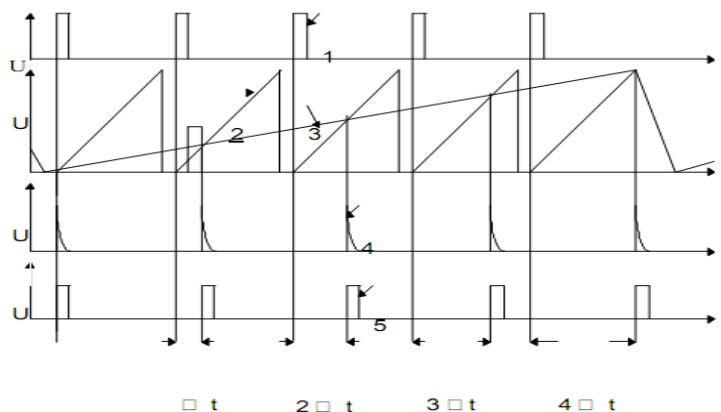


Рис. 1.6.- Принцип формирования стробимпульсов

1 - импульсы синхронизации, 2 - напряжение «быстрой пилы», 3 - напряжение «медленной пилы», 4 - импульсы блока сравнения, 5 - стробирующие импульсы.

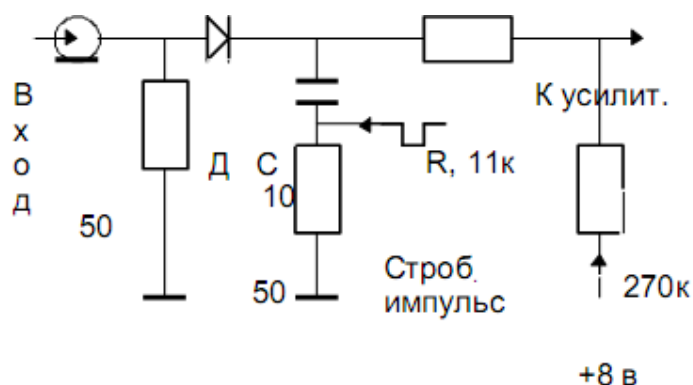


Рис. 1.7. - Смеситель стробоскопического осциллографа

Высота импульса тока диода определяется суммой напряжения сигнала и строб - импульса. Конденсатор C быстро заряжается до некоторого напряжения и после прекращения строб - импульса медленно разряжается через резистор R . При этом короткие импульсы тока диода преобразуются в широкие импульсы напряжения. Высота этих импульсов пропорциональна величине напряжения сигнала в момент считывания. Далее импульсы напряжения поступают на усилитель и расширитель, в котором «растягиваются» на весь период следования импульсов. Дискретный процесс преобразуется в ступенчатый аналоговый. После усиления узкополосным усилителем импульс подается на вертикально- отклоняющие пластины электроннолучевой трубки. На пластины горизонтального отклонения подается усиленное напряжение «медленной пилы». Импульсы с блока сравнения одновременно с запуском генератора строб - импульсов поступают в канал управления яркостью трубки, благодаря чему осциллограмма образуется светящимися точками или штрихами, равномерно отстоящими друг от друга.

Интервал времени между началом синхронизирующего импульса и возникновением строб - импульса приводит к потере начала изображения исследуемого сигнала. Для устранения этого недостатка сигнал поступает на вход смесителя через отрезок коаксиального кабеля, выполняющего роль линии задержки.

Промышленность выпускает несколько типов одно - и двухлучевых стробоскопических осциллографов с эффективной полосой пропускания 0 - 2 ГГц и 0 - % ГГц, а также стробоскопические приставки, расширяющие частотные возможности универсальных осциллографов. В ближайшее время благодаря прогрессу в производстве быстродействующих полупроводниковых приборов и интегральных узлов ожидается расширение эффективной полосы до 15 - 20 ГГц.

6. ИСКАЖЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАММ

Искажения осциллограмм, т.е. несоответствие изображения истинной форме исследуемого сигнала, возникают вследствие радиотехнических и электроннооптических причин. К радиотехническим причинам относятся: расстройка блоков каналов управления лучом и появление в них нелинейности, несогласованность сопротивлений источника импульсных сигналов и входа осциллографа, нестабильность напряжения питания, превышение допустимой величины сигнала на входе осциллографа, превышение величины синхронизирующего напряжения, влияние на электронный луч внешних электрических и магнитных полей, взаимное влияние управляющих напряжений вследствие наличия паразитных параметров в отклоняющих системах многолучевых трубок.

Электроннооптические искажения присущи электроннолучевым трубкам Астигматизм, трапецеидальные искажения, дефокусировка луча, нелинейные искажения вблизи границ экрана трубки.

Астигматизм, т.е. неравномерность фокусировки по вертикальной и горизонтальной осям, приводит к искривлению формы пятна. Причиной астигматизма является неправильная юстировка элементов электронной пушки относительно отклоняющих пластин. Астигматизм можно уменьшить путем отдельного регулирования среднего потенциала каждой пары пластин относительно второго анода.

Трапецеидальные искажения осциллограммы вызываются зависимостью чувствительности пластин вертикального отклонения от напряжения, приложенного к пластинам горизонтального отклонения. Симметричное питание пластин, при котором средний потенциал их всегда равен потенциалу второго анода, уменьшает этот вид искажений.

Дефокусировка луча, т.е. размытость пятна на экране, возникает вследствие нестабильности напряжения питания. Возможной причиной может быть также несимметричность напряжений, поступающих на пластины вертикального отклонения.

Нелинейные искажения вблизи границ экрана возникают из-за краевого эффекта в отклоняющих пластинах, эффект обусловлен неоднородностью электростатического поля между пластинами у их краев. При большом отклонении луча траектория его искривляется. Второй причиной является выпуклость дна колбы, искажения не будут проявляться при ограничении размеров осциллограммы по обеим осям примерно до 70% диаметра экрана. В осциллографических трубках с плоским экраном эти причины отсутствуют.

Описание приборов, используемых в работе

ОСЦИЛЛОГРАФ СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ С7-8.

Осциллограф стробоскопический С7-8 предназначен для исследования формы одного или двух синхронных повторяющихся электрических сигналов с перепадом от 20 мВ до 1,2 В, длительностью от 0,9 нс до 50 мкс при входном сопротивлении (низкоомном согласованном входе) и с перепадом от 80 мВ до 12 В, длительностью от 2,4 нс до 50 мкс с высокоомным входом - пробником и делителями путем визуального наблюдения, фотографирования, запоминания на электроннолучевой трубке (ЭЛТ) и записи на двухкоординатный самописец.

Стробоскопический осциллограф является многофункциональным измерительным прибором, позволяющим наблюдать форму и измерять амплитудно-временные параметры исследуемых сигналов.

Широкая полоса пропускания прибора в сочетании с высокой чувствительностью и возможностью запоминания информации на экране ЭЛТ позволяет производить широкий диапазон измерений при научных исследованиях и в промышленности.

Осциллограф предназначен для измерений в полупроводниковой электронике, в микромодульной и интегральной схемотехнике, при производстве быстродействующих электронновычислительных машин, в ядерной физике, в технике связи, в измерительной технике и т.п.

Наиболее эффективно прибор использовать при определении динамических параметров полупроводниковых приборов и параметров импульсных схем наносекундного диапазона, при настройке и оперативном контроле электропараметров узлов и блоков радиоустройств.

1.ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1.1.Работа блоков и узлов прибора удовлетворяет следующим требованиям:

а)прибор имеет два идентичных канала (А,Б) в вертикальном тракте и обеспечивает следующие режимы их работы:

- работа каналов А и Б отдельно и одновременно;
- сложение или вычитание сигналов каналов А и Б;
- функциональная работа канала (А работает на вертикальный, Б- на горизонтальный каналы прибора);
- инвертирование сигнала;
- вспомогательный сглаженный режим работы с уменьшением уровня шумов;

б) прибор обеспечивает следующие режимы работы развертки;

- нормальная (ждушая);
- разовая;
- ручная;
- внешняя (функциональная);

в) прибор должен обеспечить следующие режимы работы электроннолучевой трубки:

- осциллографический;
- запоминающий;
- запоминающий с автоматическим стиранием.

1.2. Прибор имеет рабочую часть экрана ЭЛТ 60 мм (6 больших делений шкалы) по вертикали и 80 мм (10 больших делений шкалы) по горизонтали.

Линия развертки смещается не менее чем на 60 мм (± 30 мм от центра шкалы) по вертикали и не менее чем на 30 мм от начала шкалы по горизонтали.

1.3. Ширина линии луча ЭЛТ не превышает 1 мм в осциллографическом режиме ЭЛТ и 1,5 мм в режиме запоминания в рабочей части экрана.

1.4. Прибор исследует сигналы с минимальной частотой следования 50 Гц в режиме запоминания.

1.5. Прибор имеет калибратор напряжения, формирующий калибрационный сигнал типа «меандр» с частотой следования 100 ± 30 кГц и дискретными значениями перепада напряжения 1, 2, 5 В с погрешностью не более чем 3% на нагрузке 50 Ом.

1.6. Прибор имеет калибратор времени, формирующий синусоидальное напряжение частотой 50 мГц с погрешностью не более чем 3% и амплитудой не менее чем 50 мВ и не более чем 200 мВ на нагрузке 50 Ом.

1.7. Калиброванный коэффициент отклонения вертикального тракта при низкоомном согласованном входе составляет 10, 20, 50, 100, 200 мВ /дел с погрешностью не более чем 5%, приведенной к рабочей части экрана по вертикали. Коэффициент отклонения плавно уменьшается не менее чем в два раза. Максимальная амплитуда входного сигнала составляет 1,2 В.

1.8. Уровень собственных шумов прибора, приведенной ко входу, не должен превышать 1,5 мВ.

1.9. Дрейф луча по вертикали не превышает 15 мВ за 10 мин после прогрева прибора в течение 30 минут и не более 5 мВ за 10 мин после прогрева прибора в течение 1 часа.

1.10. Параметры входа прибора следующие:

- входное сопротивление низкоомного согласованного входа каналов А,Б составляет $50 \pm 2,5$ Ом с КСВн в полосе частот 500 - 1000 мГц не более 1,35, в полосе частот 1000 - 1500 мГц не более 1,7;
- входное сопротивление канала синхронизации 50 ± 10 Ом в положении переключателя СИНХРОНИЗАЦИЯ -«1 : 10» и 5000 ± 1000 Ом с выносным делителем.

1.11.Развертка прибора имеет 15 фиксированных значений:

- 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 ; 2; 5; 10; 20; 50 нс/дел;
- 0,1; 0,2; 0,5 ; 1,0; 2; 5; мкс/дел.

1.12.Погрешность калиброванной длительности развертки, приведенная к рабочей части экрана по горизонтали, не превышает: 10% в положении 0,1; 0,2 нс/дел, 20% в положении 1; 2; 5; мкс/дел и 5% в остальных положениях.

1.13.Запуск и синхронизация развертки производится следующими сигналами:

- развертка запускается и синхронизируется импульсами положительной и отрицательной полярности с частотой следования от 50 Гц до 100 мГц, амплитудой от 100 мВ до 1 В, длительностью от 1 нс и более и фронтом, не превышающим 50 нс;
- запуск и синхронизация развертки производятся синусоидальными немодулированными сигналами с частотой от 1 до 1000 мГц и амплитудой от 50 до 250 мВ;
- нестабильность запуска развертки не превышает $0,09 \text{ нс} + 0,01 \text{ Тр}$, где Тр - длительность развертки на рабочей части экрана.

1.14.Запаздывание начала развертки и регулируемая величина задержки имеет следующие значения:

- запаздывание начала развертки относительно сигнала синхронизации в положениях 1 - 5 нс/дел не превышает 80 нс при фронте запускающего сигнала не более чем 2 нс;
- на развертках в положениях 10 нс/дел - 0,5 мкс/дел запаздывание не превышает $0,2 \text{ Тр} + 100 \text{ нс}$, где Тр - длительность развертки на рабочую часть экрана;
- регулируемая величина задержки начала развертки составляет не менее чем 15 нс.

1.15.Прибор выдает следующие сигналы:

- импульс синхронизации, синхронный с разверткой, длительностью не менее чем 200 нс и не более чем 5 мкс с фронтом не более чем 50 нс, амплитудой не менее чем 70 мВ и не более чем 300 мВ на нагрузке 50 Ом, отрицательной полярности;

- аналоговое напряжение исследуемого сигнала с амплитудой не менее чем 2,5 В и не более чем 10 В на нагрузке 10 кОм при величине изображения на экране ЭЛТ 60 мм;
- пилообразное напряжение положительной полярности с амплитудой не менее чем 15 В и не более чем 30 В на нагрузке 20 кОм длительностью 5 - 80 мс при внутреннем запуске.

1.16. Прибор обеспечивает запись изображения сигнала на двухкоординатный самописец со скоростью движения луча не более чем 80 мм за 10 с.

1.17. Прибор обеспечивает запись изображения сигнала и его стирание - ручное или автоматическое с частотой 2 Гц и менее, а также позволяет производить фотографирование изображения с экрана ЭЛТ.

1.18. Время сохранения записанного на экране ЭЛТ изображения сигнала составляет не менее чем 10 мин.

Примечание. При переходе из режима ЗАПОМИНАНИЕ в режим ОСЦИЛЛОГРАФ и наоборот сохранение изображения на экране ЭЛТ не гарантируется.

1.19. Прибор обеспечивает свои технические характеристики после времени самопрогрева в течение 30 минут.

1.20. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока, напряжением 220 В \pm 10%, частотой 50 Гц \pm 1% и содержанием гармоник до 5%.

1.21. Мощность, потребляемая прибором от сети, составляет 300 ВА.

1.22. Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение восьми часов.

Конструктивно прибор выполнен в настольном варианте типового каркаса и состоит из двух частей: основного прибора (стробоскопического осциллографа) и блока линии задержки.

Внимание:

- Во избежание выхода из строя ЭЛТ следует работать при малой яркости луча. Перед переключением переключателя «Род работы ЭЛТ» в режим «Запоминание» необходимо ручку «Яркость» поставить в левое крайнее положение, т.е. запереть ЭДТ. После перехода в режим «Запоминание», медленно вращая потенциометр «Яркость» вправо, установить оптимальную яркость свечения экрана, удобную для работы.
- Выходы вертикальных каналов открыты (без переходных емкостей), поэтому запрещается подавать непосредственно на них постоянное напряжение свыше 1 В во избежание пробоя смесительных диодов.

- Максимальный импульсный сигнал, подаваемый на входы вертикального тракта и тракта развертки, не должен превышать 1 В.
- Во избежание выхода из строя реле Р1 (К4) в блоке управления ЭЛТ в режиме «Автостирание» следует перед переключением переключателя «Род работы ЭЛТ» в положение «Автостирание» ручку «Точки/дел.» Установить в крайнее правое положение, обеспечивающее частоту следования «Медленной пилы» около 2 - 5 Гц.

2. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

В таблице приведены обозначения и описано назначение органов управления, расположенных на лицевой панели прибора.

В приборе имеются дополнительные органы регулировки, которые расположены на его задней стенке. Это сетевой разъем (Ш9), держатель предохранителя (Пр5), разъем «Выход развертки»(Г1), разъем "«ход развертки"» (Г2), Разъем для подачи аналогового сигнала на вертикальный тракт самописца (Ш2), «Самописец», клемма заземления (К1).

3. ПОРЯДОК РАБОТЫ

3.1. Подготовка к проведению измерений

3.1.1. После выполнения рекомендаций по установке органов управления в положения, указанные в таблице, с помощью шнура питания подключить к прибору напряжение питания 220 В 50 Гц, включить прибор тумблером СЕТЬ. После этого должна загореться лампочка НАКАЛ и АНОД. Органами управления лучом установить удобную для наблюдения яркость и фокусировку луча.

Далее необходимо проверить запуск схемы развертки регулировкой синхронизации ЧУВСТВИТ.

Развертка должна устанавливаться в ждущем режиме и режиме автоколебательном. В вертикальном тракте проверяется возможность перемещения луча по вертикали органами смещения. После этого переключателем РОД РАБОТЫ ЭЛТ устанавливается режим ЗАПОМИНАНИЕ или АВТОСТИРАНИЕ, а развертка переводится в ждущий режим работы с помощью регулировки ЧУВСТВИТ.

3.1.2. Особенности стробоскопического осциллографирования

Следует помнить, что осциллографы, работающие на стробоскопическом принципе преобразования сигнала, имеют свои характерные особенности. Одной из них является то, что изображение состоит из определенного количества точек, которые особенно заметны на крутых фронтах. Блик развертки позволяет регулировать плавно количество точек

на изображении регулировкой ТОЧКИ/ДЕЛ. Общее время стробирования (исследования сигнала) зависит от количества точек и чем больше их на изображении, тем дольше должен длиться процесс исследования. При исследовании сигналов с малой частотой следования указанное обстоятельство следует учитывать и устанавливать общее время стробирования не более 100 с, чтобы исключить возможный дрейф усилителей вертикального и горизонтального трактов.

Сигналы с малой частотой следования (от 1 кГц и ниже) необходимо исследовать в запоминающем режиме трубки, который устанавливается с помощью переключателя РОД РАБОТЫ ЭЛТ в положении АВТОСТИРАНИЕ или ЗАПОМИНАНИЕ.

В режиме ЗАПОМИНАНИЕ сигнал, записанный при однократном запуске «медленной пилы», можно исследовать в течение 30 минут. При переключении режима трубки сохранность изображения не гарантируется.

3.1.3. Ложное изображение

А стробоскопических осциллографах в определенных условиях за счет кратности частоты исследуемого сигнала и числа точек можно получить ложное изображение. Ложное изображение такого типа можно обнаружить, изменив число точек или частоту сигнала. При наблюдении ложного изображения регулировка развертки ДЛИТЕЛЬНОСТЬ не действует, т.е. на временной шкале наблюдается одно и то же в линейном измерении изображение при изменении в широких пределах временного масштаба.

Вторым видом ложного изображения является изображение состоящее из малого количества точек. В этом случае отдельные характерные элементы сигнала могут быть не видны на изображении, так как шаг считывания (временной интервал между точками) больше их длительности (например, выброс на сигнале).

Увеличив число точек на изображении сигнала или частоту его следования, можно убедиться, является ли это изображение ложным.

3.1.4. Калибровка коэффициента отклонения усилителя

Коэффициент отклонения двухканального стробоскопического усилителя устанавливается следующим образом.

При включенном приборе на разъем ВХОД А кабелем подается импульсное напряжение величиной 1 В с калибратора амплитуды. В положении переключателя РЕЖИМ РАБОТЫ «А Б», переключателя коэффициента отклонения 200 mV/дел и КАЛИБР. С помощью регулировки КОРРЕКТ. УСИЛЕНИЯ канала А устанавливается величина изображения 5 делений. Потом таким же образом подается калибрационное напряжение на канал Б. Проверка проводится на развертке длительностью $5 \square S/\text{дел}$.

синхронизация осуществляется сигналом с выхода СИНХРОИМП. КАЛИБРАТОРА. Для более точного измерения исследуемых сигналов рекомендуется проводить дополнительно калибровку тех положений переключателя чувствительности, на которых проводились измерения.

3.1.5. Калибровка длительности разверток проводится от генератора калибрационных отметок 50 МГц. Для проведения калибровки необходимо соединить кабелем вход вертикального тракта и выход генератора (разъем 50 МГц). После установки длительности развертки 20 nS/дел и подстройки синхронизации с помощью регулировки ЧУВСТВИТ. Должно быть 10 периодов синусоиды на 10 делений шкалы. Подстройка длительности развертки осуществляется с помощью регулировки КАЛИБРОВКА.

3.2. Проведение измерений

3.2.1. Двухканальный стробоскопический усилитель имеет широкие возможности при исследовании двух синхронных процессов. Наличие двух входов и синхронного коммутатора позволяет исследовать временной сдвиг между двумя процессами с разрешающей способностью в десятые доли нс. Так как на выходе блока сигналы по длительности в десятки тысяч раз больше входных, но повторяют форму последних, это обстоятельство позволяет их записывать на самописцах, подавать на аналого-цифровые преобразователи и таким путем автоматизировать процесс измерения.

3.2.2. Необходимо помнить, что стробоскопическая система имеет время задержки. На быстрых развертках его можно скомпенсировать включением линии задержки в вертикальный канал осциллографа. В данном случае исследуемый сигнал подается на разветвитель-тройник и через линию задержки на вход «А» или «Б» усилителя, а кабелем небольшой длины в канал синхронизации. Рекомендуется включать ослабитель 10 дБ в канал синхронизации для уменьшения его реакции на вертикальный канал.

3.2.3. Измерение напряжения на экране трубки производится методом сравнения с известным (опорным) напряжением или методом калиброванных шкал. Каждый из каналов имеет органы подстройки, позволяющие установить его коэффициент отклонения с погрешностью до 3%. При измерении рекомендуется выбирать чувствительность такой, чтобы изображение занимало большую часть шкалы. При измерении между отдельными точками изображения отсчет следует проводить с одной и той же стороны линии шумов, чем достигается большая точность измерения из-за исключения влияния шумов.

Регулировкой КОМПЕНСАЦИЯ можно перемещать линию развертки на ± 1 В относительно середины шкалы, причем, подключив к выходному гнезду указанного напряжения (внутри блока) электронный цифровой вольтметр,

например, В7-8, можно измерить указанное напряжение с погрешностью до 1%. Таким образом, компенсационный метод измерения позволяет измерить на экране напряжение $\square 1$ В с погрешностью до 3%.

В процессе измерения регулировка СМЕЩЕНИЕ должна находиться в одном и том же положении, регулировка плавного изменения коэффициента ослабления должна находиться в положении КАЛИБР. Измеренное между двумя точками напряжение (в вольтах) равно разности показаний вольтметра, деленной на 100.

3.2.4. Прибор позволяет проводить измерения разности фаз между двумя синхронными колебаниями.

Для этого необходимо подать сигнал на гнезда ВХОД А, ВХОД Б, установить переключатель рода работы каналов в положение А ВЕРТ, Б ГОРИЗ. и регулировками коэффициента отклонения канала Б величину изображения по оси Х установить такой же, как в канале А (5 - 6 делений). На экране должно получиться изображение в виде фигуры Лиссажу. Регулировками смещения необходимо установить изображение симметрично относительно осей Х - У. Если входные сигналы являются синусоидальными, то изображение будет иметь форму эллипса. Сдвиг фаз рассчитывается по формуле:

$$\sin \varphi = \frac{a}{b},$$

где φ - угол сдвига фаз,

a - расстояние от точек пересечения изображения с осью У,

b - амплитуда изображения по оси У.

3.2.5. Алгебраическое сложение и вычитание сигналов.

Алгебраическая сумма или разность двух сигналов получается в том случае, если переключатель рода работы каналов находится в положении «А+Б». Сигналы суммируются, когда оба движковых переключателя находятся в одинаковых положениях, например, НОРМ., и вычитаются в противоположных.

Режим сложения или вычитания двух сигналов является дифференциальным входом и его полезно применять в том случае, когда необходимо избавиться от нежелательной составляющей исследуемого сигнала, например, фона от сети, подав на другой канал составляющую фона..

3.2.6. Двухканальный режим работы позволяет одновременно наблюдать два отдельных процесса и используется для сравнения двух сигналов по амплитуде или времени. Чтобы получить соответствующее изображение двух сигналов, необходимо, чтобы они появлялись по отношению

друг к другу во времени, не превышающем длительности развертки. Блок работает в двухканальном режиме в положении переключателя РЕЖИМ РАБОТЫ «А Б».

3.2.7. Аналоговое напряжение с двухканального усилителя выводится на разъем с обозначением САМОПИСЕЦ. В качестве самописца рекомендуется использовать потенциометр двухкоординатный самопишущий типа ПДС-021. Напряжением развертки для самописца является пилообразное напряжение, снимаемое с разъема РАЗВЕРТКА - ВЫХОД. Указанное напряжение должно иметь длительность не менее 0,5 с, его также можно снимать с потенциометра, выведенного под регулировку режима развертки в положение РУЧНАЯ.

3.2.8. Применение и особенности работы стробоскопической развертки.

Блок развертки обеспечивает калиброванную шкалу оси времени прибора в диапазоне от «0,1 нС/дел» до «5 мС/дел». В указанном диапазоне разверток блок позволяет измерять временные интервалы и частоту.

3.2.9. Для измерения длительности импульса необходимо получить его стабильное изображение НАСТРОЙКА установить такую длительность развертки, чтобы расстояние между измеряемыми точками занимало большую часть шкалы, но не менее 4 делений. Сигналы с частотой следования до 100 МГц следует подавать на входной разъем СИНХР., а свыше 100 МГц - на входной разъем ВЧ СИНХР. При подаче сигнала синхронизации на входной разъем ВЧ СИНХР. Переключатель рода работы следует установить в положение В.

Режим разового запуска развертки («медленной пилы») используется при фотографировании с экрана, а также при работе трубки в режиме запоминания. Разовый режим развертки получается после установки переключателя РЕЖИМ РАЗВЕРТКИ в положение РАЗОВАЯ и при наличии запуска быстрой пилы, т.е. сигнала на входном разъеме СИНХР. Или ВЧ СИНХР.

3.2.10. Режим работы с внешней разверткой используется для перемещения луча в горизонтальном направлении. Внешнее пилообразное напряжение положительной полярности величиной от 0 до + (25 - 30 В) подается на разъем ВХОД РАЗВЕРТКИ. Это свойство прибора можно использовать при работе трубки в режиме запоминания и исследований сигналов с частотой следования до 50 Гц и ниже 50 Гц, а также для подачи напряжения развертки из самописца. Можно использовать вместо самописца другие типы приборов, имеющие выходное пилообразное напряжение, или генератор напряжения специальной формы для функциональной записи осциллограмм.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ Г5-54

Генератор импульсов Г5-54 (в дальнейшем по тексту «прибор») предназначен для работы при исследовании, отладке и настройке радиотехнических устройств в различных отраслях народного хозяйства и научных исследованиях.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1.1. Прибор выдает видеоимпульсы переключаемой полярности прямоугольной формы в диапазоне длительностей основных импульсов от 0,5 до 1000 мкс.

Диапазон длительности 0,1 - 0,5 мкс согласно ГОСТ11113-74 является дополнительным.

1.2. Длительность основных импульсов ($|$) регулируется плавно - ступенчато (8 поддиапазонов) от 0,1 до 1000 мкс (1 мс).

Основной диапазон регулировки при скважности более 5. Погрешность установки длительности основных импульсов в основном диапазоне не превышает $\pm (0,1 \oplus | + 0,03 \text{ мкс})$. Поддиапазон регулировки длительности основных импульсов при скважности менее 5 (до 2) является дополнительным.

Погрешность установки длительности в дополнительном поддиапазоне не нормируется.

1.3. Нестабильность длительности основных импульсов за один час не превышает $\pm 3\%$ от установленной величины. Паразитная модуляция длительности не превышает $3 \oplus 10^{-3} \oplus | + 0,003 \text{ мкс}$.

1.4. Максимальная амплитуда основных импульсов параллельной емкостью 50 пФ не менее 50 В.

Обеспечивается плавная регулировка амплитуды от U_{\max} до $0,3 \oplus U_{\max}$ и ступенчатое ослабление с коэффициентами (K) $\times 1$; $\times 0,3$; $\times 0,1$; $\times 0,03$.

Прибор имеет два дополнительных выхода с общими коэффициентами деления 1:1000 (выход 1:10) и 1:10000 (выход 1:100).

1.5. Погрешность установки амплитуды в пределах плавно-ступенчатой регулировки не превышает $\pm (0,1 \oplus U + K \oplus_1 \text{ В})$, где K - коэффициент ступенчатого ослабления.

1.6. Длительность фронта и среза основных импульсов на внешней нагрузке 500 Ом с параллельной емкостью 50 пФ, подключенной к концу кабеля длиной 400 мм (K_2), не превышает соответственно 50 и 100 нс при скважности не менее 5, а при скважности менее 5 (до 2) - соответственно 75 и 120 нс. При подключении нагрузки с емкостью к концу кабеля длиной 1000 мм (K_3) длительность фронта и среза не превышает соответственно 75 и 100 нс при

скважности не менее 5, а при скажности менее 5 (до 2) - соответственно 100 и 150 нс.

1.7. Неравномерность вершины импульса и в паузе при работе на внешнюю нагрузку 500 Ом с параллельной емкостью 50 пФ не превышает 5% от амплитуды при скажности не менее 5, а при скажности от 5 до 2 неравномерность не нормируется. Выбросы на вершине и в паузе не превышают 5% от амплитуды.

1.8. Временной сдвиг (задержка) основного импульса относительно синхроимпульса (D) регулируется плавно - ступенчато от 0,1 до 1000 мкс.

Величина D не должна превышать 0,5 периода повторения основных импульсов (T).

Обеспечивается установка нуля временного сдвига с помощью специальной кнопки. Основной диапазон регулировки временного сдвига при $D \in 0,2 \div T$ (при величине временного сдвига менее 0,2 периода повторения).

Погрешность установки временного сдвига в основном диапазоне не превышает $\pm (0,1 \div D + 0,03 \text{ мкс})$. Дополнительный поддиапазон регулировки временного сдвига при его величине более $0,2 \div T$ (до $0,5 \div T$).

Погрешность установки в дополнительном поддиапазоне не нормируется.

1.9. Частота повторения импульсов (F) при внутреннем запуске регулируется плавно - ступенчато (8 поддиапазонов) от 0,01 до 100 кГц.

Погрешность установки частоты повторения импульсов не превышает $\pm 0,1$ Гц.

1.10. Нестабильность частоты повторения импульсов на один час не превышает $\pm 3\%$ от установленной величины.

1.11. Внешний запуск прибора обеспечивается:

- импульсами длительностью от 0,3 до 5 мкс с амплитудой от 1 до 20 В при частоте повторения до 100 кГц и длительностью фронта не более 0,3 мкс;
- синусоидальным напряжением амплитудой от 5 до 20 В при частоте от 0,05 до 100 кГц;
- механическим однократным пускателем (кнопкой).

1.12. Начальная задержка внешнего запуска не превышает 1 мкс.

1.13. Прибор выдает синхроимпульсы со следующими параметрами:

- полярность переключаемая (положительная и отрицательная);
- длительность 0,3 - 1,0 мкс;
- максимальная амплитуда не менее 10 В (но не более 15 В) на нагрузке 1 кОм с параллельной емкостью 50 пФ;
- длительность фронта не более 0,1 мкс;
- выброс и неравномерность вершины не более 20% амплитуды;

- длительность среза не нормируется;
- неравномерность в паузе не более 10%;
- выброс в паузе не более 20%.

1.14. Параметры входных и выходных ВЧ гнезд прибора:

- суммарное напряжение (постоянное напряжение и напряжение пусковых сигналов), подаваемое на гнездо Ш2 (внешний запуск), не должно превышать 20 В;
- гнездо выхода синхроимпульсов допускает подключение к цепям с постоянным напряжением не более 10 В;
- гнезда выходов основных импульсов не допускают подключения к цепям с наличием постоянных напряжений.



1.15. Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных ТУ после времени самопрогрева в течение 15 минут.

1.16. Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 8 часов при сохранении своих технических характеристик в пределах норм.

2. КОНСТРУКЦИЯ

2.1. Конструктивно генератор импульсов выполнен в виде настольного прибора в нормализованном корпусе и имеет габариты 370 × 227 × 185 мм.

2.2. На лицевой панели расположены органы управления, присоединения и контроля:


- тумблер «Сеть» и индикаторная лампа включения;
- группа кнопок «Запуск»;
 - при нажатии верхней кнопки прибор работает в режиме внутреннего запуска;
 - при нажатии 2-ой кнопки работает разовый (однократный) запуск;
 - при нажатии кнопке  - запуск внешним отрицательным импульсом;
 - при нажатой кнопке  - запуск внешним положительным импульсом или синусоидальным сигналом/
- группа ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ содержит шкальное устройство плавной регулировки частоты повторения и переключатель поддиапазонов частоты повторения. Цвет кнопки соответствует цвету шкалы плавной регулировки, по которой необходимо вести отсчет;



- группа СИНХРОИМПУЛЬСЫ - выходное гнездо синхрои импульса, переключатель полярности синхрои импульса и регулятор амплитуды АМПЛ.;
- группа ВРЕМЕННОЙ СДВИГ содержит шкальное устройство плавной регулировки временного сдвигатосновного импульса относительно синхрои импульса и переключатель поддиапазонов временного сдвига. Цвет кнопки соответствует цвету шкалы плавной регулировки, по которой необходимо вести отсчет;
- группа ДЛИТЕЛЬНОСТЬ содержит шкальное устройство плавной регулировки длительности основного импульса и переключатель поддиапазонов длительности основных импульсов. Цвет кнопки соответствует цвету шкалы плавной регулировки, по которой необходимо вести отсчет;
- группа выхода основных импульсов имеет выходные гнезда 1:100, 1:10, 1:1, ручку плавной регулировки амплитуды, переключатель делителя амплитуды основного импульса вольтметр, показывающий амплитуду основного импульса (отсчет по шкале измерительного прибора производится в вольтах с учетом включенного делителя амплитуды и коэффициента деления выходного гнезда) и переключатель полярности основных импульсов.

На лицевой панели также расположена клемма заземления соединенная с корпусом прибора.

6. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

При подготовке прибора к работе необходимо:



- заземлить прибор (через клемму );
- подключить внешнюю нагрузку 500 Ом к выходному гнезду 1:1;
- убедиться, что на вход и выходы прибора не может поступить постоянное или переменное напряжение от подключенной аппаратуры свыше допустимых пределов;
- нажать верхнюю кнопку переключателя ЗАПУСК;
- нажать черную кнопку « $\times 10^4$ » ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ и установить по черной шкале частоту 100 кГц;
- нажать белую кнопку « $\times_{0,1}$ » переключателя ДЛИТЕЛЬНОСТЬ и установить по белой шкале длительность 0,1 мкс;
- нажать кнопку « $\times_{0,03}$ » переключателя амплитуды основного импульса;
- ручку АМПЛ повернуть влево до отказа;

- нажать кнопку  или  ;
- включить прибор (тумблер СЕТЬ вверх) и прогреть в течение 15 минут.

4. ПОРЯДОК РАБОТЫ

4.1. Прибор допускает по роду запуска три режима работы: внутренний запуск, внешний запуск и разовый.

4.2. Внутренний запуск.

- Нажать самую верхнюю кнопку переключателя ЗАПУСК. Установить кнопками и шкальным устройством ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ необходимую частоту повторения импульсов.
- Кнопками и шкальным устройством ВРЕМЕННОЙ СДВИГ установить необходимый временной сдвиг основного импульса прибора относительно синхроимпульса. Если временной сдвиг не нужен, обязательно нажать кнопку «О» переключателя ВРЕМЕННОЙ СДВИГ.
- Кнопками и шкальным устройством ДЛИТЕЛЬНОСТЬ установить необходимую длительность основных импульсов прибора. ПРИ ЭТОМ МИНИМАЛЬНАЯ СКВАЖНОСТЬ ДОЛЖНА БЫТЬ НЕ МЕНЕЕ ДВУХ.
- Кнопками ,  установить необходимую полярность.
- Кнопками делителя амплитуды (x_1 , $x_{0,3}$, $x_{0,1}$, $x_{0,03}$) и ручкой АМПЛ. плавной регулировки амплитуды основных импульсов установить по шкале вольтметра необходимую амплитуду импульсов.
- Если амплитуда должна быть установлена не менее 0,5 В, то внешняя нагрузка должна быть подключена к гнезду 1:1. Если необходима амплитуда менее 0,5 В, то внешняя нагрузка должна быть подключена к гнезду 1:10 или 1:100. В этом случае необходимо нажать нижнюю кнопку делителя амплитуды « $x_{0,03}$ ».
- В случае необходимости засинхронизировать работающую совместно с генератором аппаратуру, соединить выходное гнездо СИНХРОИМПУЛЬСЫ с помощью кабеля, входящего в комплект прибора со входом аппаратуры, выставить тумблером необходимую полярность синхроимпульсов и ручкой АМПЛ. СИНХРОИМПУЛЬСЫ с помощью кабеля.

4.3. Внешний запуск.

- Нажать одну из кнопок внешнего запуска, соответствующую форме и полярности внешнего запускающего сигнала. На входное гнездо ЗАПУСК подать запускающий сигнал с амплитудой не более 20 В и частотой не более 100 кГц.

Дальнейшая работа аналогична работе при внутреннем запуске, при этом также необходимо соблюдать условие минимальной допустимой скважности.

4.4.Разовый запуск.

- Нажать кнопку разового запуска. Остальные органы управления прибора должны находиться в том же положении, что и при внутреннем запуске.

При каждом нажатии на кнопку разового запуска прибор выдает один синхронимпульс и один основной импульс на соответствующих выходах.

ОСЦИЛЛОГРАФ ЗАПОМИНАЮЩИЙ С8-9А

Осциллограф запоминающий С8-9А предназначен для исследования формы низкочастотных периодических и однократных сигналов путем запоминания и последующего визуального наблюдения или фотографирования изображения с экрана электроннолучевой трубки.

Прибор должен удовлетворять требованиям ГОСТ 9763-67 и ГОСТ 9810-69 за исключением требований к рабочей части экрана, а по условиям эксплуатации приборов относится ко II группе ГОСТ 9763-67.

Прибор относится к III классу ГОСТ 9810-69.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1.1.Рабочая часть экрана не менее 33 толщин линии (40 мм) по вертикали и 66 толщин линии (80 мм) по горизонтали.

1.2.Толщина линии луча при воспроизведении не более 1,2 мм в любом участке рабочей части экрана.

1.3.Максимальная скорость записи в режиме запоминания не менее 100 км/сек при соотношении скоростей записываемого сигнала и развертки не более 15:1.

1.4.Время воспроизведения записанных процессов не менее 1 минуты, а время сохранения при обесточенном состоянии не менее 16 часов.

1.5.Полоса пропускания усилителя вертикального отклонения:

- при открытом входе от постоянного тока до 2,5 МГц со спадом частотной характеристики 3 дБ;
- при закрытом входе от 0,2 кГц до 200 кГц со спадом частотной характеристики 1 дБ.

1.6.Завал вершины импульса длительностью 1250 мкс не более 5%.

1.7.Неравномерность вершины изображения импульса из-за отражений и синхронных наводок не более 1 толщины линии.

1.8.Параметры входа:

- усилителя вертикального отклонения без выносного делителя: высокоомный вход - 500 ком $\pm 3\%$ с шунтирующей емкостью 40 ± 5 пФ; низкоомный вход - 75 Ом $\pm 5\%$;
- усилителя синхронизации: входное сопротивление- 500 кОм $\pm 10\%$.

1.9.Смещение луча на экране электроннолучевой трубки (ЭЛТ) за счет дрейфа усилителя вертикального отклонения не более 1 мм за 1 минуту и 3 мм за 30 минут.

1.10.Погрешность измерения амплитуды импульсов длительностью от 1.10-6 до 4 с, синусоидальных напряжений при открытом входе в диапазоне частот от 0,05 до 200 кГц и при закрытом входе - от 0,2 до 200 кГц в диапазоне амплитуд от 0,2 до 100 В не более $\pm 10\%$, при размахе изображения не менее 20 мм.

1.11.Погрешность измерения амплитуды при использовании выносных деталей: делителя 1:10 - не более $\pm 5\%$; делителя 1:100 - не более $\pm 10\%$.

1.12.Нелинейность амплитудной характеристики не более 10%.

1.13.Длительность развертки должна иметь 18 фиксированных значений: 1; 2; 4; 10; 20; 50; 100; 200; 500; мкс и 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500 мс на один сантиметр отклонения по оси «X» при нелинейности не более 10%.

1.14.Погрешность измерения временных интервалов в диапазоне от $4 \cdot 10^{-6}$ до 4 с, соответствующих линейному отклонению по горизонтали от 40 до 60 мм, не более $\pm 10\%$.

1.15.Запуск разверток при внутренней и внешней синхронизации осуществляется импульсами любой полярности, длительностью не менее 1 мкс с временем нарастания фронта от 0,2 до $1 \cdot 10^5$ мкс с частотой следования от однократных сигналов до 10 кГц. Внутренний запуск обеспечивается указанными импульсами при отклонении луча по вертикали от 10 мм. Внешний запуск разверток обеспечивается импульсами амплитудой от 1 до 50 В. Запуск разверток осуществляется при нестабильности не более 1,8 толщины линии. В режиме однократного запуска с ручным стиранием обеспечивается блокировка от повторного запуска.

1.16.Осциллограф позволяет производить записи исследуемых процессов при однократном запуске без стирания ранее записанного изображения.

1.17.Осциллограф имеет следующие виды работ развертки:

- ждущий с регулируемым послесвечением;
- однократный с запоминанием, с ручным стиранием и ручной подготовкой к запуску;
- однократный с запоминанием, с автоматическим стиранием и подготовкой к запуску.

В режиме автоматического стирания обеспечивается:

- плавная регулировка времени задержки от момента окончания записи до начала стирания в пределах от 5 до 60 с;
- блокировка от запуска развертки в течение времени выдержки;
- готовность к записи после осуществления стирания.

1.18. Прибор обеспечивает свои технические характеристики после само прогрева в течение 15 минут.

1.19. Прибор сохраняет свои технические характеристики при питании его от сети переменного тока напряжением 220 В $\pm 10\%$, частотой 50 Гц $\pm 1\%$ и содержанием гармоник до 5%.

1.20. Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 8 часов при сохранении своих технических характеристик.

2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИНДИКАТОРА

Запоминающая трубка с видимым изображением имеет два прожектора:

- записывающий;
- воспроизводящий.

Кроме двух прожекторов имеются элементы памяти:

- мишень;
- коллектор.

Металлизированный экран служит электродом после ускорения для электронов воспроизводящего прожектора. Покрытый люминофором экран служит для воспроизведения формы регистрируемых сигналов.

Пучок электронов записывающего прожектора фокусируется и отклоняется точно так же, как и в обычных трубках.

Воспроизводящий прожектор дает широкий пучок медленных электронов достаточно равномерной плотности по всему сечению. Воспроизводящий прожектор представляет собой распределенный катод прямого накала.

Между прожекторами и экраном расположена мишень, которая представляет собой мелкоструктурную сетку с шагом в несколько десятков микрон. Со стороны катода сетки покрыта диэлектриком, коэффициент вторичной эмиссии которого больше 1.

В блоке мишени на стороне прожекторов помещена другая сетка - коллектор, соединенная с подложкой мишени. Коллектор выполняет роль приемника электронов, выбиваемых с мишени.

Процесс преобразования электрических сигналов, подаваемых на отклоняющие пластины, в видимое изображение на экране трубки и сохранение изображения в течение длительного времени происходит следующим образом.

Перед записью потенциал диэлектрика мишени приводится к потенциалу запирающего с помощью стирающего импульса. При подаче на подложку мишени стирающего импульса напряжение на ней увеличивается на величину амплитуды импульса. Потенциал поверхности диэлектрика за счет емкостной связи также увеличивается и через некоторое время приводится к потенциалу катода. Таким образом, пока действует стирающий импульс, мишень делается как бы прозрачной для медленных электронов. Последние, проходя сквозь сетку, попадают под действие поля ускорения экрана и, достигая люминофора экрана, бомбардируют его, вызывая свечение его по всей поверхности.

По прекращении действия на подложку мишени стирающего импульса потенциал поверхности диэлектрика мишени также из-за емкостной связи понижается на величину амплитуды импульса стирания. Это понижение превосходит величину потенциала запирающего мишени. Мишень запирается, сквозь нее медленные электроны уже не проходят, экран перестает светиться. Мишень подготовлена к новой записи.

Записывающий луч, проходя по мишени, повышает потенциал диэлектрика, так как энергия электронов записывающего луча достаточно велика, а коэффициент вторичной эмиссии диэлектрика больше 1.

В тех участках мишени, где прошел записывающий луч, потенциал поверхности диэлектрика повышается, достигает значения, превосходящего потенциал запирающего мишени. Электроны воспроизводящего прожектора проходят сквозь заряженные ячейки мишени и, ускоряясь полем экрана, достигают люминофора, возбуждают его и вызывают свечение. Происходит воспроизведение изображения, соответствующего по форме записанному на мишени потенциальному рельефу.

Время воспроизведения, то есть время наблюдения записанного изображения, зависит от скорости засева поверхности мишени положительными ионами, образующимися в результате столкновения электронов воспроизводящего луча с молекулами остаточных газов. Положительные ионы нейтрализуют отрицательный заряд поверхности диэлектрика, воспроизводящие электроны начинают проникать на экран по всей поверхности мишени, и весь экран засвечивается.

Для подготовки трубки к последующей записи необходимо подать на подложку мишени стирающий импульс. Мишень приобретает отрицательный потенциал, экран перестает светиться, трубка вновь готова к записи.

3. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВКИ ОСЦИЛЛОГРАФА

ОБОЗНАЧЕНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ	НАЗНАЧЕНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ
СЕТЬ	Включение и выключение прибора
ЯРКОСТЬ	Регулировка яркости (амплитуды подсветного импульса).
ФОКУС	Фокусировка луча (установка напряжения на аноде 1 ЭЛТ)
АСТИГМАТИЗМ	Фокусировка луча (установка напряжения на аноде П ЭЛТ).
КАЛИБРАТОР, мВ	Установка напряжения калибровки при измерении наблюдаемого сигнала или калибровки усилителя по чувствительности.
БАЛАНС	Перемещение луча по вертикали. Балансировка входного каскада усилителя вертикального отклонения.
УСИЛЕНИЕ	Плавная регулировка коэффициента усиления.
75, 1:1, 1:10, 1:100, КАЛИБР	Установка входов, деления входного сигнала и подключение калибрационного напряжения на вход усилителя.
ВХОД	Переключение входов: закрытый, открытый.
КОРРЕКТ	Корректировка калиброванной длительности разверток по внешнему калибратору.
	Перемещение луча по горизонтали
ДЛИТЕЛЬНОСТЬ МНОЖИТЕЛЬ	Выбор необходимой длительности развертки.
СТИРАНИЕ	Стирание записанного процесса осуществляется кнопкой Кн2
АВТ.	Включение в работу автомата стирания и подготовки к записи.
РЕГ.	Включается регулируемое подстирание.
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ	Воспроизведение записанного процесса.
ВРЕМЯ	Регулируется время воспроизведения при автоматическом стирании и длительность после свечения при регулируемом стирании.
ЯРКОСТЬ	Регулируется яркость записанного сигнала (открывается или закрывается воспроизводящий прожектор).
ГОТОВ	Подготовка развертки к запуску в режиме ручного стирания.
ПОЛЯРНОСТЬ	Выбор полярности в соответствии с полярностью поступающих синхронизирующих сигналов.
ПОДСТРОЙКА	Установка режима ждущей развертки.
ВНУТР; 1:1; 1:10 ; ВНЕШ.	Выбор вида синхронизации и ослабление сигнала при внешней синхронизации.
ПОДСВЕТ ШКАЛЫ	Регулировка освещенности шкалы трубки.

7. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Оператор должен быть знаком с принципом работы электроннолучевой трубки, установленной в приборе.

Трубка очень чувствительна к току луча записывающего прожектора, а точнее, к плотности тока. Чрезмерная плотность может привести к необратимым явлениям в трубке. Это явление связано с образованием на мишени глубоко потенциального рельефа и как следствие - изменения структуры диэлектрика мишени. Глубокий потенциальный рельеф не выравнивается ни стиранием, ни последующей обработкой экрана током записывающего луча. Этот рельеф (остаточный след) всякий раз быстро проявляется на экране и прежде всего с этих мест начинается выравнивание потенциала мишени и приведение его к потенциалу подложки (стирание без повышения потенциала подложки). К тому же следует учитывать, что запись сигнала (создание рельефа) производится и при убранном воспроизведении (воспроизводящий прожектор заперт), что заставляет еще более внимательно относиться к подбору тока луча при производстве записи. Все сказанное относится к любому из режимов «СТИРАНИЯ», выбранному оператором.

Для предотвращения перегрузки по току записывающего луча в приборе предусмотрены меры, частично обеспечивающие предохранение трубки. Обеспечивается запертое состояние записывающего прожектора при неотклоняемом луче (развертка заторможена) при крайнем левом положении ручки «ЯРКОСТЬ».

Открытие прожектора при неотклоняемом луче даже при малом токе приводит к интегрированию (накоплению) следа в виде точки.

ВНИМАНИЕ! Не допускается открывать ЭЛТ при не отклоненном луче !

Подготовку прибора к измерению рекомендуется проводить в режиме регулируемого стирания, при котором допускается запуск развертки в ждущем режиме.

До включения прибора в сеть органы управления лучом устанавливаются следующим образом:

- «ФОКУС», «АСТИГМАТИЗМ»- в среднее положение;
- «ВРЕМЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ»- в среднее положение.

Органы управления усилителем и разверткой устанавливаются в положении:

- СМЕЩЕНИЕ \updownarrow - в среднее положение;
- СМЕЩЕНИЕ \leftrightarrow - в левое крайнее или близко к нему;
- ДЛИТЕЛЬНОСТЬ - в положение 1 мкс/дел x 2;

- ручка «СТИРАНИЕ» - в положение «СТИРАНИЕ/РЕГ.» (развертка в ждущем режиме).

Ручка запуска развертки - в положении «ВНЕШ.», полярность в соответствии с поданным сигналом.

Ручка «УСИЛЕНИЕ»- в крайнем правом положении, а входной делитель - «1:10». Вход открытый.

На входы осциллографа с генератора Г5-54 (режим внутреннего запуска) подается импульс длительностью 1 мс (скважность больше 2) и синхроимпульс.

Тумблером «СЕТЬ» включается прибор. О включении прибора сигнализирует лампочка накаливания около тумблера. Через 15 минут после включения можно приступить к оперированию органами управления прибором. Ручка «ЯРКОСТЬ» вводится в правое положение, в вращении ручки «ПОДСТРОЙКА» запускается развертка до появления изображения импульса на экране. При отсутствии импульса изменить время задержки импульса генератора Г5-54. Органами управления лучом устанавливается оптимальная яркость и фокусировка луча. Яркость луча устанавливается такой, чтобы изображение хорошо наблюдалось на небольшом фоне экрана. Фон устанавливается ручкой «ЯРКОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ».

Проверяется действие ручки «ВРЕМЯ». В левом крайнем положении этой ручки яркость изображения уменьшается, эффект послесвечения выражен слабо. При вращении ручки по часовой стрелке яркость возрастает, послесвечение увеличивается и в крайнем правом положении достигает почти полной памяти.

После этого переводится в режим «РУЧН.» или «АВТ.» стирание.

В положении «РУЧН.» переключателя рода работы, трубка переводится в режим запоминания, развертка - в однократный режим с блокировкой от повторного запуска.

При восстановленной развертке неоновая лампочка на лицевой панели горит, кнопкой «ГОТОВ» осциллограф подготовлен к однократной записи.

При подаче сигнала на вход осуществляется запись. При этом если необходимо, следует подобрать ток пишущего прожектора ручкой «Яркость».

При нажатии на кнопку «СТИРАНИЕ» экран трубки должен ярко засветиться, при отпускании - погаснуть. При восстановлении развертки прибор вновь готов к записи.

В положении «АВТ.» переключателя рода работ трубка и развертка работают в тех же режимах, что и при ручном стирании. При наличии сигналов на входе включается в работу автомат, производящий автоматическое стирание и подготовку к записи. Ручка «ВРЕМЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ» при этом

определяет продолжительность воспроизведения записанного сигнала от момента записи до момента стирания.

В левом положении ручки «ВРЕМЯ» воспроизведение минимальное, а в правом - максимальное - около 1 мин.

Генератор Г5-54 переводится в режим однократного ручного запуска и производится запись одиночного импульса.

Осциллограф имеет внутреннее калибрационное напряжение для измерения амплитуд исследуемых сигналов.

Калибратор амплитуды выдает калиброванное напряжение значениями 0,1 до 1 В. Это напряжение при установке входного делителя в положение «КАЛИБР.» Подается на вход усилителя, минуя входной делитель. Выставляя это напряжение, размахом, равным размаху исследуемого сигнала, можно определить амплитуду последнего путем считывания со шкалы калибратора установленного калибрационного напряжения, умноженного на коэффициент деления входного делителя.

Ручку усиления вертикального тракта (усилителя вертикального отклонения) при измерении не сдвигать с положения, которое было при осциллографировании.

Измерение временных параметров исследуемых процессов осуществляется методом калиброванных длительностей развертки.

Для определения длительности импульса или другого временного интервала необходимо:

- определить линейный размер измеряемого временного интервала по горизонтали в делениях шкалы экрана;
- определить по положению переключателя «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» значение длительности одного деления установленной развертки. Длительность временного интервала определяется как произведение линейного размера изображения в делениях на экране на значение длительности одного деления развертки.

Точность измерения временных интервалов возрастает при увеличении длины измеряемого интервала на экране электроннолучевой трубки. Скорость развертки следует выбирать так, чтобы измеряемый процесс занимал больше половины рабочей части экрана по горизонтали.

Прибор выключается следующим образом:

- ручки «ЯРКОСТЬ» записи и воспроизведения выводятся в крайнее левое положение;

- выключается тумблер «ЗАПИСЬ» под верхней крышкой прибора;
- выключается тумблер «СЕТЬ».

УПРАЖНЕНИЯ:

1. Используя стробоскопический осциллограф С7-8, зарисовать и определить параметры (длительность, амплитуду, время фронта, время спада, неравномерность вершины, значение выброса на вершине, скважность) импульсного сигнала минимальной длительности (0,1 мс по генератору) при максимальной частоте следования импульсов (10^5 Гц по генератору).

2. Определить параметры того же сигнала при минимальной частоте следования импульсов.

Использовать режим работы ЭЛТ «Запоминание» или «Автостирание» и различные режимы развертки («нормальная», «разовая», «ручная»). Зарисовать сигнал.

3. Определить параметры и зарисовать импульсный сигнал длительностью 1 мс (по генератору) при максимальной и минимальной частотах следования импульсов.

4. Определить время задержки импульсов линией задержки.

5. Получить на экране осциллографа и зарисовать сумму и разность прямого сигнала и сигнала, прошедшего линию задержки (длительность сигнала 0,1 мс).

6. С помощью осциллографа С8-9А произвести запись и определить параметры одиночных импульсов длительностью 1 мс (изображение зарисовать).

ВНИМАНИЕ:

Во избежание порчи осциллографа необходимо работать при минимальной яркости луча.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Работать в режиме «Запоминание» при автоколебательном режиме работы развертки (положение ручки «Норм.»).

2. Работать в режиме «Автостирание» при частоте следования импульсов >100 Гц.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ:

1. Изучите методические указания к лабораторной работе:
 - Изучить принцип действия, функциональную схему и назначение узлов универсального электронного осциллографа
 - Ознакомиться с правилами использования осциллографа в режиме непрерывной, ждущей развертки, в режиме использования канала X для подачи внешних сигналов.
 - Изучить правила калибровки каналов вертикального и горизонтального отклонения с помощью тестового сигнала.
 - Ознакомиться с методикой измерения амплитудных и временных параметров электрических сигналов.
 - Ознакомиться с правилами определения погрешностей измерения амплитудных и временных параметров электрических сигналов с применением осциллографа и представления результатов с учетом округления.
2. Выполните упражнения.
3. Оформите отчет по лабораторной работе

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные функциональные узлы универсального электронного осциллографа и объясните их предназначение в его работе.
2. Что такое синхронизация, и как она осуществляется в электронном осциллографе?
3. Что такое ждущий режим развертки, как он осуществляется и для наблюдения каких сигналов он используется?
4. Как с помощью осциллографа измерить амплитуду импульса, период следования и длительность импульсов?
5. Как оценить точность измерения временных и амплитудных параметров сигналов, наблюдаемых на экране осциллографа?

Содержание отчета:

1. Описать ход работы
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа №2:

«Исследование дискретных сигналов и измерение их параметров»

Цель работы: Исследование процессов дискретизации и восстановления непрерывных сигналов.

Общие сведения из теории

Под **дискретизацией** сигналов понимают преобразование функций непрерывных переменных в функции дискретных переменных, по которым исходные непрерывные функции могут быть восстановлены с заданной точностью. Для точного представления произвольной непрерывной функции $x(t)$ на конечном интервале времени T необходимо располагать данными о мгновенных значениях (отсчётах) этой функции во всех точках интервала, т.е. непрерывным множеством отсчётов, отстоящих друг от друга на бесконечно малые интервалы. Некоторое приближённое представление о функции $x(t)$ можно составить по её отображению в виде дискретной последовательности импульсов, имеющих на интервалах Δt значения $x(i\Delta t)$, называемых отсчётами (рис.2.1).

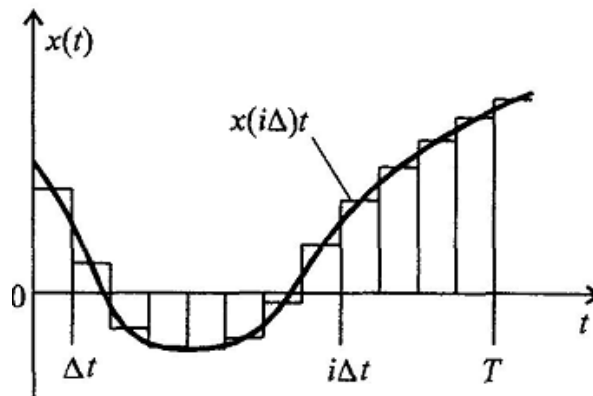
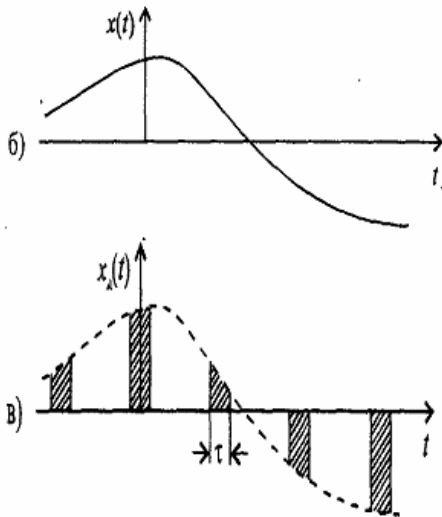
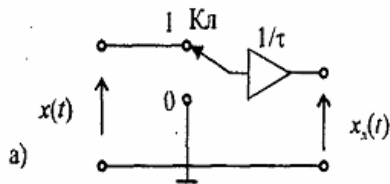


Рис. 2.1.- Отображение непрерывной функции последовательностью прямоугольных импульсов

Операция замены непрерывной функции последовательностью отсчётов её мгновенных значений называется дискретизацией. В качестве простейшей физической модели дискретизации рассмотрим коммутационное устройство (рис. 2.2, а). С помощью ключа Кл обеспечивается периодическое с частотой дискретизации $F_d = 1/\Delta t$ подключение к источнику непрерывного сигнала $x(t)$ (рис. 2.2, б) на время τ , т.е. производится замена непрерывной функции $x(t)$ последовательностью $x_d(t)$ на интервалах τ (рис. 2.2, в).



Последовательность отсчётов $X_d(t)$ можно трактовать как произведение $x(t)$ на периодическую последовательность импульсов дискретизации $f_d(t)$ (рис. 2.3):

$$x_d(t) = x(t)f_d(t) = x(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \Psi_{\tau}(t - k\Delta t),$$

где импульсы дискретизации

$$\Psi_{\tau} = \begin{cases} 1/\tau, & t \in [-\tau/2; \tau/2], \\ 0, & t \notin [-\tau/2; \tau/2]. \end{cases}$$

Множитель $1/\tau$ нормирует функцию $\tau \Psi$ к единичной площади. Для этого в схеме рис 2.2 а после ключа Кл введено масштабное звено. Чтобы перейти к отсчётам мгновенных значений $x(t)$ в точках $t = k \Delta t$, необходимо рассмотреть особенности периодической функции $f_d(t)$ при $\tau \rightarrow 0$. Нетрудно видеть, что при $\tau \rightarrow 0$ эта

периодическая функция заменяется **решётчатой функцией** $f_p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - k\Delta t)$.

Дискретный сигнал можно выразить так:

$$\begin{aligned} x_d(t) &= x(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - k\Delta t) = \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta) \delta(t - k\Delta t) \end{aligned}$$

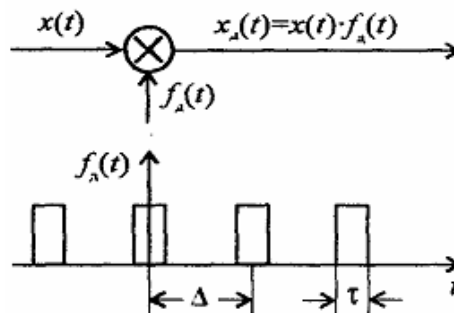


Рис 2.3- Дискретизация непрерывной функции $x(t)$ путем ее умножения на периодическую последовательность импульсов

Как было показано, процедура дискретизации сводится к образованию произведения дискретизируемой функции $x(t)$ на последовательность импульсов дискретизации $f_d(t)$. В спектральной области произведение функций времени соответствует свертке их спектров. Пусть спектр функции $x(t)$ имеет вид, представленный на рис. 2.4, а, где F_v - верхняя граничная частота. Спектр

периодической последовательности импульсов дискретизации является линейчатым (рис. 2.4, б); частота дискретизации определяется интервалом дискретизации $F_D = 1/\Delta t$. Спектры дискретизированного сигнала представлены для случаев, когда $F_D = 2 F_B$ (рис. 1.2, в), $F_D > 2 F_B$; (рис. 2.4, г) и $F_D < 2 F_B$ (рис. 2.4, д). Для неискажённого воспроизведения функции $x(t)$ по последовательности отсчётов посредством идеального фильтра низких частот необходимо выбирать частоту дискретизации так, чтобы спектральные компоненты свёртки $S_x(f)$ с каждой из дискретных составляющих периодической функции pFD ($p=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) располагались в неперекрывающихся областях (рис. 2.4). Этому соответствуют значения $F_D > 2 F_B$. При $F_D < 2 F_B$ спектральные области перекрываются, а в полосу частот $(-F_B, F_B)$ дискретизируемого сигнала попадут спектральные компоненты смежных областей и возникнут искажения при восстановлении функции по отсчётам. Далее будет показано, что для точного воспроизведения непрерывной функции с ограниченным (финитным) спектром достаточно располагать значениями функции (отсчётами) лишь в отдельных точках. Модели сигналов с ограниченным спектром часто используются в технике связи. В частности, в стандартном телефонном канале за верхнюю граничную частоту принимают $F_B = 3400$ Гц, а, например, при телевизионной передаче граничная частота определяется числом различимых элементов изображения и равна $F_B = 6,5$ МГц.

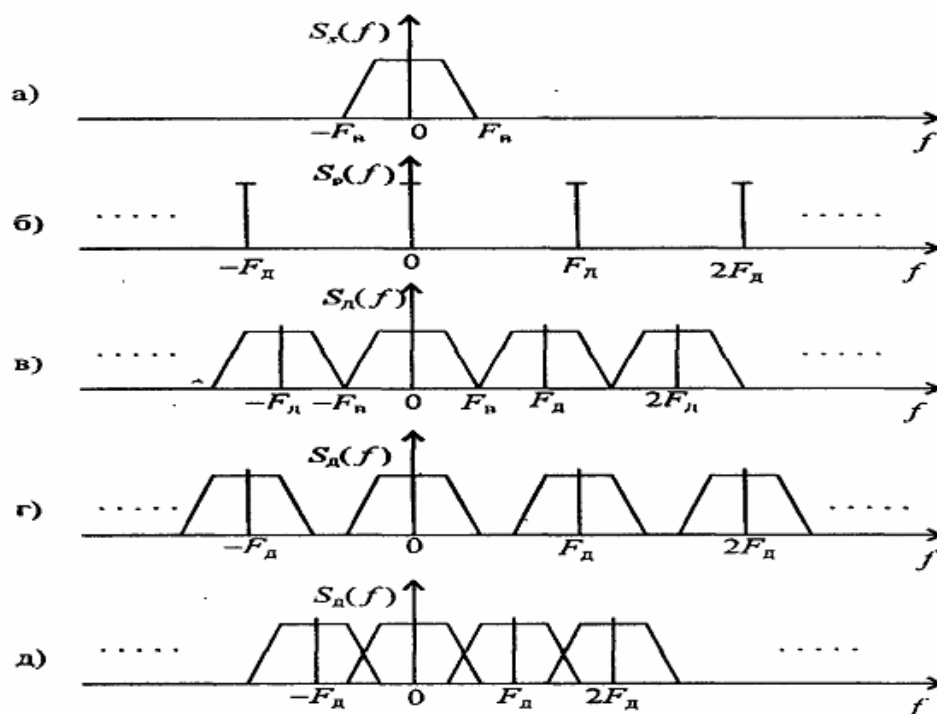


Рис 2.4 - Спектр (а) непрерывного сигнала $x(t)$; линейчатой решетчатой функции с периодом $\Delta t = 1/F_D$; (в) дискретного сигнала при $F_D = 2 F_B$; (г) при $F_D > 2 F_B$; (д) при $F_D < 2 F_B$

В общем случае процессы дискретного представления описываются выражениями:

$$(c_1, c_2, \dots, c_N) = A[x(t)], \quad (1.1)$$

$$\tilde{x}(t) = A'[(c_1, c_2, \dots, c_N)], \quad (1.2)$$

где A — оператор дискретного представления, A' — оператор восстановления, c_1, c_2, \dots, c_N — совокупность координат дискретного представления непрерывного сигнала $x(t)$, $\tilde{x}(t)$ — восстановленный по координатам дискретного представления сигнал.

При линейных процессах представления и восстановления выражения (1.1) и (1.2) можно представить в виде:

$$c_i = \int_0^{T_\varepsilon} x(t) \psi_i(t) dt, \quad i = 1, \dots, N \quad (1.3)$$

$$\tilde{x}(t) = \sum_{i=1}^N c_i \phi_i(t), \quad (1.4)$$

где $\psi_i(t)$ и $\phi_i(t)$ — весовые и базисные (координатные) функции.

В зависимости от системы используемых весовых функций $\psi_i(t)$, $i = 1, \dots, N$, различают дискретное временное, дискретное обобщенное и дискретное разностное представления.

В случае дискретного временного представления используется система весовых функций $\psi_i(t) = \delta(t - t_i)$, $i = 1, 2, \dots, N$, где $\delta(t - t_i)$ — дельта-функция. При этом, как это следует из (1.3), координаты $c_i = x(t_i)$, $i = 1, \dots, N$, т. е. совпадают с мгновенными значениями (отсчётами) непрерывной функции $x(t)$ в дискретные моменты t_i . Представление называется регулярным, если шаг дискретизации $T_d = t_i - t_{i-1}$ постоянный. В противном случае оно называется нерегулярным.

При представлении сигналов регулярными отсчётами основным является выбор частоты дискретизации $F_d = 1/T_d$ и базисных функций $\phi_i(t)$. Особенно важно найти минимальную частоту F_d , при которой еще имеется принципиальная возможность восстановления непрерывного сигнала с заданной погрешностью. При решении этих задач следует принимать во внимание свойства исходных сообщений, способы восстановления и требуемую точность восстановления.

Для модели сигнала с ограниченным спектром решение указанных задач содержится в теореме Котельникова, формулировка которой звучит так: любую непрерывную функцию со спектром, ограниченным полосой частот от нуля до F_v , можно однозначно определить последовательностью ее мгновенных значений, взятых через интервалы $T_d \leq 1/2 F_v$ по формуле [5-9]

$$\tilde{x}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(iT_d) \frac{\sin 2\pi F_v(t - iT_d)}{2\pi F_v(t - iT_d)}, \quad (1.5)$$

Восстановление непрерывной функции производится в соответствии с выражением (1.5), которое называется рядом Котельникова. Базисными функциями в данном случае служат функции отсчётов

$$\varphi_i(t) = \frac{\sin 2\pi F_{\text{с}}(t - iT_{\text{Д}})}{2\pi F_{\text{с}}(t - iT_{\text{Д}})}, i = \dots, -1, 0, 1, \dots$$

Они образуют ортогональную на бесконечном интервале $-\infty < t < \infty$ систему функций.

Фундаментальное значение теоремы Котельникова заключается в том, что она обосновывает возможность дискретизации по аргументу (времени) любых функций с ограниченным спектром. На ней основаны все методы импульсной модуляции.

Пусть для некоторых сигналов $x(t)$ с ограниченным спектром все отсчёты в точках $k\Delta t$, лежащих за пределами некоторого интервала времени длительностью T , равны нулю. Тогда ряд (1.5) вырождается в конечную сумму, число членов которой n равно числу отсчётных точек, уместяющихся на интервале T : $n \approx T / \Delta t = 2F_{\text{в}}T$, эта величина представляет размерность пространства. В теории связи ее называют базой сигнала.

Иногда полученный результат формулируют следующим образом: сигнал длительностью T , спектр которого не содержит частот выше $F_{\text{с}}$ полностью определяется заданием $2F_{\text{в}}T$ его отсчётов. Однако такая формулировка противоречива. Как известно из теории преобразования Фурье, спектр ограниченного во времени сигнала не может быть финитным, так что сигналов, о которых говорится в приведенной фразе, в природе не существует. В частности, сигнал, представленный конечным числом членов ряда Котельникова, существует и за пределами интервала времени T , внутри которого находятся все ненулевые отсчёты. Это видно из того, что каждая функция отсчётов не ограничена, хотя и затухает довольно быстро при удалении от своего максимума.

Тем не менее, на практике часто приходится иметь дело с финитными сигналами, энергия которых почти полностью сосредоточена внутри полосы частот $|f| \leq F_{\text{в}}$, для таких сигналов нередко используют конечное число $2F_{\text{в}}T$ членов ряда Котельникова. Но в данном случае это представление является приближенным, и сумма такого конечного ряда отличается от функции $x(t)$ некоторой погрешностью. Заметим, что такой ограниченный во времени сигнал можно разложить и по тригонометрическому базису в обычный ряд Фурье по частотам, кратным $1/T$

$$x(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(k) e^{j2\pi kt/T},$$

$$X(k) = \int_0^T x(t) e^{-j2\pi kt/T} dt$$

Если теперь отбросить малые члены, частоты которых превышают F_b , то легко убедиться, что число ненулевых членов такого ряда также примерно равно $2F_b T$. В этом ничего удивительного нет, так как оба эти представления можно трактовать как разложение функций в пространстве с размерностью $2F_b T$ по двум различным ортогональным базисам.

1.2 Восстановление непрерывной функции по ее отсчётам

Дискретизированный по времени сигнал $x(t)$, т. е. последовательность его отсчётов, часто бывает представлен последовательностью очень коротких импульсов, площадь которых пропорциональна отсчётам $x(n\Delta t)$. Если пропустить такой импульс через идеальный фильтр нижних частот (ФНЧ) с полосой пропускания F_c , то на выходе восстановится сигнал $x(t)$. Действительно, импульсная реакция идеального ФНЧ равна $g(t) = \sin(2\pi F_c t) / 2\pi F_c t$, а последовательность входных импульсов (аппроксимируя их дельта-функциями) можно представить суммой

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta t) \delta(t - k\Delta t)$$

Тогда на основании интеграла Дюамеля на выходе ФНЧ в момент времени t получим

$$\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta t) \delta(\tau - k\Delta t) \frac{\sin 2\pi F_c (\tau - t)}{2\pi F_c (\tau - t)} d\tau =$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta t) \frac{\sin 2\pi F_c (t - k\Delta t)}{2\pi F_c (t - k\Delta t)} = x(t)$$

Таким образом, непрерывный сигнал восстанавливается, если на вход идеального фильтра нижних частот с полосой пропускания $0 \dots F_b$ подать последовательность дельта-функций $\delta(t - iT_d)$, $i = \dots, -1, 0, 1, \dots$, умноженных на коэффициенты $x(iT_d)$. Однако ни сигнал в виде дельта-функции, ни идеальный фильтр нижних частот физически нереализуемы. Поэтому на практике вместо дельта-функций используют короткие импульсы, а вместо идеального фильтра нижних частот — реальный фильтр нижних частот, что, естественно, приводит к погрешности восстановления. На рис. 2.5, а, б, в показано, как выглядит процесс восстановления непрерывной функции. Рис. 2.5, а демонстрирует отсчёты сигнала

в виде вертикальных сплошных отрезков, а пунктиром обозначена дискретизированная непрерывная функция. На Рис. 2.5, б отображены отсчётные функции для двух произвольных моментов времени: для одного пунктиром, для другого сплошной линией. Рис. 2.5, в включает в себя результат перемножения отсчётных функций предыдущего рисунка со значениями отсчётов в выбранные моменты времени и результат восстановления непрерывной функции.

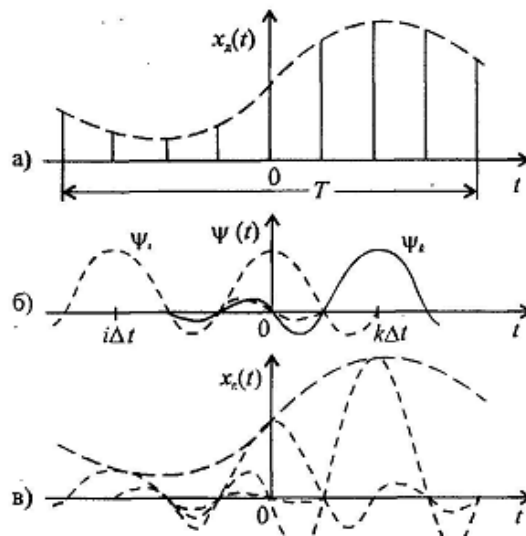


Рис 2.5. Иллюстрация принципа восстановления непрерывной функции по ее отсчётам: а) дискретизированный сигнал, б) отсчётные функции, в) восстановленный сигнал

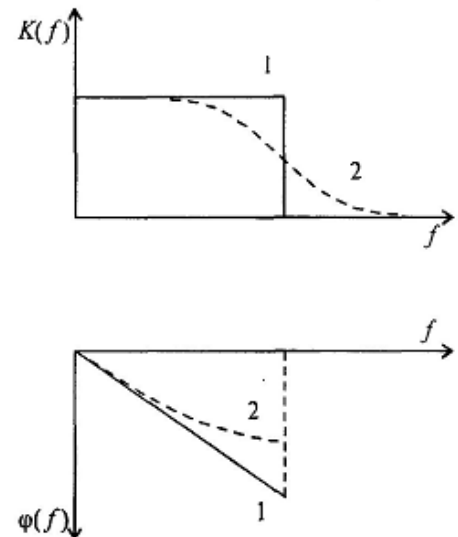


Рис 2.6. АЧХ и ФЧХ фильтра, формирующего отсчётные функции: (1) – идеального ФНЧ, (2) – неидеального ФНЧ

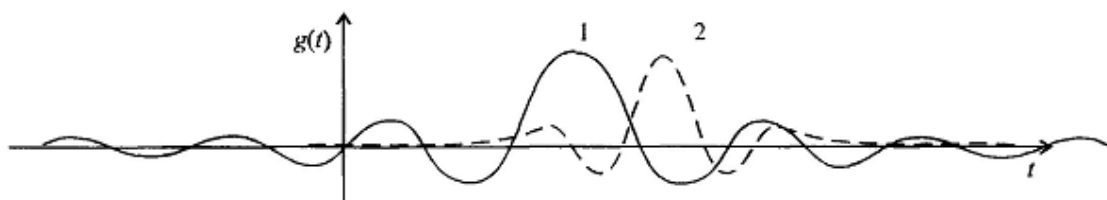


Рис 2.7. Импульсная характеристика фильтра, формирующего отсчётные функции: (1) – идеального ФНЧ, (2) – неидеального ФНЧ

Любую функцию отсчётов $\phi_i(t)$ можно получить на выходе идеального фильтра нижних частот, подав на его вход сигнал $\delta(t - iT_d)$. Идеальным называется фильтр нижних частот, у которого комплексная частотная характеристика имеет вид $K(j\omega) = K_0$, при $-\omega_{\max} \leq \omega \leq \omega_{\max}$; $K(j\omega) = 0$, при $\omega < -\omega_{\max}$, $\omega > \omega_{\max}$. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) и фазочастотные характеристики (ФЧХ) для идеального и неидеального ФНЧ показаны на рис.2.6. Импульсные характеристики этих фильтров приведены на рис. 2.7.

1.3 Дискретизация узкополосного сигнала. Обобщение теоремы Котельникова.

Рассмотрим сигнал, спектральная плотность которого $S(\omega)$ равна нулю вне интервала $(f_c - \Delta F/2, f_c + \Delta F/2)$ для положительных частот (обозначим ее $S^+(f)$) и вне симметричного интервала $(-f_c - \Delta F/2, -f_c + \Delta F/2)$ для отрицательных частот (обозначим, соответственно, $S^-(f)$) (рис. 1.8). Тем самым ширина спектра на положительной или отрицательной полуоси частот принимает значение ΔF . Сигнал будет называться узкополосным, если $\Delta F \ll f_c$. Для рассматриваемого сигнала спектральную плотность можно записать в виде $S(f) = S^+(f) + S^-(f)$.

Согласно теореме Котельникова, частота дискретизации F_D должна быть выбрана большей или равной $2(f_c + \Delta F/2)$. Тот факт, что спектральная функция рассматриваемого сигнала равна нулю вне введенных выше интервалов, позволяет использовать частоту дискретизации F_D , значительно меньшую по сравнению с частотой F_c , определяемой теоремой Котельникова.

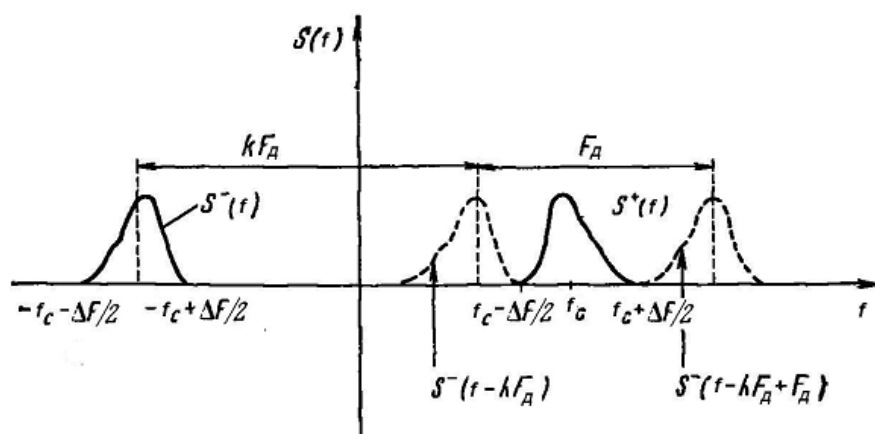


Рис 2.8. Спектр дискретизированного узкополосного сигнала

Рассмотрим только положительные частоты, поскольку все результаты остаются справедливыми и для отрицательных частот. Можно допустить параллельный перенос спектра в интервалах $(0, f_c - \Delta F/2)$ и $(f_c + \Delta F/2, +\infty)$, вызванный процессом дискретизации, при условии, что отсутствует даже частичное пересечение со спектром сигнала $S^+(f)$ до дискретизации (рис. 2.8). Такой перенос спектра $S^-(f)$ примыкающего справа к $S^+(f)$, получается после $k+1$ переносов на расстояние F_D . Для переноса спектра, примыкающего слева к $S^+(f)$, требуется k переносов на величину F_D . Если при переносах не происходит наложений, то спектры $S^+(f)$ и $S^-(f)$ не изменяются. При восстановлении начального спектра $S(f)$ достаточно умножить получаемый после переносов спектр на сумму двух прямоугольных функций, отличных от нуля соответственно на интервалах $(f_c - \Delta F/2, f_c + \Delta F/2)$ и $(-f_c - \Delta F/2, -f_c + \Delta F/2)$. Число k называется порядком субдискретизации.

Для нахождения частоты дискретизации F_D необходимо использовать условие, что k и $k+1$ переносов $S^-(f)$ не дают пересечений с $S^+(f)$. Ясно, что если нет пересечений с $S^+(f)$, то пересечения со спектром отсутствуют везде.

Из рис. 2.8 видно, что пересечения отсутствуют, если выполняются неравенства

$$\begin{aligned} -f_c + \Delta F/2 + kF_D &< f_c - \Delta F/2 \\ -f_c - \Delta F/2 + (k+1)F_D &< f_c - \Delta F/2. \end{aligned}$$

Отсюда получаем

$$(2f_c + \Delta F)/(k+1) < (2f_c - \Delta F)/k$$

Субдискретизация возможна, если

$$(2f_c + \Delta F)/(k+1) < (2f_c - \Delta F)/k \quad (1.6)$$

или

$$k < (f_c - \Delta F/2)/\Delta F.$$

Обозначим $2f_c/\Delta F = v_c$, $F_D/\Delta F = v_d$, тогда неравенство (1.6) примет вид

$$(v_c + 1)/(k+1) < v_d < (v_c - 1)/k$$

Из последнего выражения следует, что $v_d = F_D/\Delta F$ должна содержаться между двумя прямыми

$$\begin{aligned} v_1 &= (v_c - 1)/k, \\ v_2 &= (v_c + 1)/(k+1). \end{aligned} \quad (1.7)$$

Отметим, что для всех зон, в которых можно выбирать F_D , выполнено неравенство $F_D > 2\Delta F$. Действительно, когда все переносы являются смежными, неравенство $F_D \geq 2\Delta F$ должно быть выполнено, поскольку протяженность спектра $S(f)$ равна F . (Отметим, что общая протяженность спектра с учетом его составляющих на отрицательных частотах равна $2\Delta F$) Итак, зная центральную частоту f_c , длину спектральной полосы F функций $S_+(f)$ и $S_-(f)$ и используя уравнение (1.7), можно построить все зоны, внутри которых расположены значения отношения $F_D/\Delta F$ (рис. 2.9). Наибольший интерес представляет выбор минимально возможной частоты дискретизации. Такой выбор соответствует ординате выше значения $F_D/\Delta F = 2$.

Интервалы частот $(0, F_D/2)$, $(F_D/2, F_D)$, $(F_D, 3F_D/2)$,... принято называть зонами Найквиста. При выполнении полученного условия на выбор частоты отсчётов спектральные плотности при параллельном переносе, вызванном дискретизацией, не будут выходить за пределы одной из зон Найквиста.

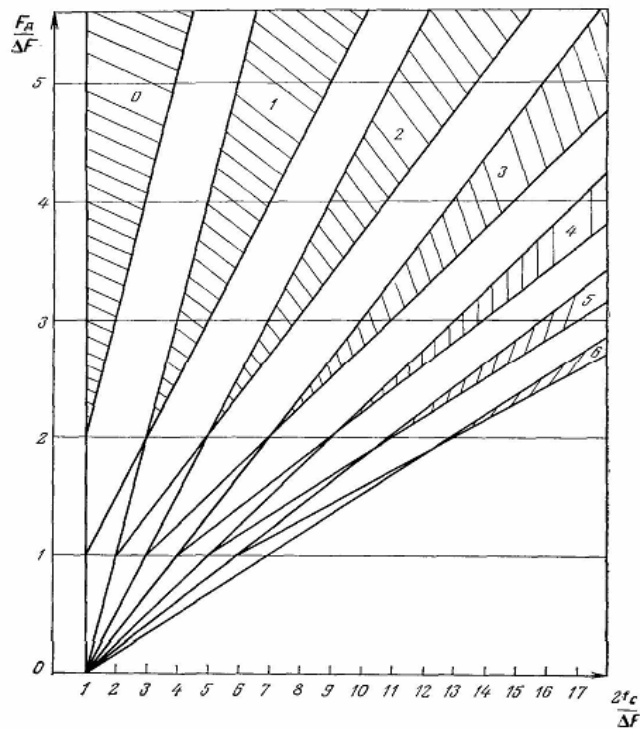


Рис 2.9. Диаграмма, иллюстрирующая диапазоны допустимых значений частоты дискретизации F_d (заштрихованные области) для узкополосного сигнала на частоте f_c и полосой ΔF . Цифрами на заштрихованных областях указаны номера зон субдискретизации

На практике представляет также интерес максимально возможное увеличение порядка субдискретизации, так как это увеличение позволяет уменьшить число обрабатываемых дискретных значений сигнала.

1.4 Дискретизация случайных процессов. Ошибки восстановления

Теорему Котельникова можно распространять и на случайные сигналы. Тогда она формулируется следующим образом: для случайного процесса с односторонней спектральной плотностью мощности, удовлетворяющей условию $G_x(f)=0$ при $f > F_v$, ряд

$$\sum_{i=-\infty}^{\infty} X(iT_d) \frac{\sin 2\pi F_v (t - iT_d)}{2\pi F_v (t - iT_d)},$$

где $X(iT_d)$ —случайные величины, представляющие собой отсчёты случайного процесса, взятые через интервалы времени $T_d = 1/2F_v$, сходится в среднеквадратическом смысле к процессу $X(t)$.

Теорема Котельникова дает предельные соотношения для идеализированных условий, среди которых следует отметить ограниченность спектра по частоте и бесконечное время наблюдения. Все реальные сигналы конечны во времени и имеют неограниченный по частоте спектр. Использование модели с ограниченным спектром и конечное время наблюдения приводят к погрешности при восстановлении непрерывного сигнала.

Рассмотрим причины этих погрешностей. Поскольку все слагаемые ряда (1.5) обращаются при $t = i\Delta t$ в нуль во всех точках, за исключением, слагаемого с номером $k = i$, то в этих сечениях значения восстановленного сигнала совпадают с исходным, т.е. в этих точках погрешность восстановления равна нулю. Погрешность достигнет наибольшей величины внутри промежутка между отсчётами. Кроме того, величина погрешности нарастает к краям рассматриваемого интервала.

Другая причина погрешностей обусловлена тем, что спектры реальных ограниченных во времени сигналов не обращаются в нуль за пределами граничной частоты. Хотя основная энергия сигналов расположена на частотах от нуля до F_v , некоторая часть приходится на частоты выше граничной.

Третьей причиной погрешностей являются неидеальные характеристики фильтра, формирующего отсчётные функции.

Тем не менее, теорема Котельникова имеет большое практическое значение. Дело заключается в том, что спектр сигнала так или иначе ограничивается (например, при передаче непрерывного сообщения спектр $G(f)$ целесообразно ограничить частотой F_v , при которой $G(f) < N(f)$, где $N(f)$ — спектральная плотность мощности шума на выходе канала). В этих случаях теорема Котельникова позволит сориентироваться в отношении частоты дискретизации. Обычно ее определяют по приближенной формуле $F_d \approx 2\lambda F_v$, где λ — некоторый коэффициент, который обычно принимает значения из диапазона 1,25 ... 2,5.

Ограничение спектра сигнала частотой F_v путем фильтрации приводит к погрешности восстановления, относительный средний квадрат которой

$$\delta_F^2 = \frac{\int_{F_{\max}}^{\infty} G(f) df}{\int_0^{\infty} G(f) df} \quad (1.8)$$

т. е. равен отношению мощности отброшенной части спектра к средней мощности исходного сообщения.

При отсутствии предварительной фильтрации в процессе восстановления сигнала ошибка дискретизации возрастает. Пусть $S_x(j\omega)$ — спектральная плотность сигнала $x(t)$. Тогда спектральная плотность дискретизированного сигнала $x_d(t)$

$$S_{x_d}(j\omega) = \frac{1}{T_d} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_x[j(\omega - \frac{2\pi n}{T_d})], \quad (1.9)$$

т. е. она представляет собой с точностью до множителя $1/T_d$ сумму бесконечного числа «копий» спектра исходного сообщения (рис. 2.10). Эти

копии располагаются на оси частот через равные промежутки $2\pi/T_D$. При восстановлении сигнала идеальным фильтром нижних частот с полосой пропускания $-\pi/T_D \leq \omega \leq \pi/T_D$ возникает ошибка, относительный средний квадрат этой ошибки с учетом (1.9) определяется как

$$\delta_{от.ф}^2 = \frac{\int_{|\omega| > \pi/T_D}^{\infty} |S_x(j\omega)|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |S_x(j\omega)|^2 d\omega} + \frac{\int_{-\pi/T_D}^{\pi/T_D} \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} |S_x[j(\omega - 2\pi n/T_D)]|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |S_x(j\omega)|^2 d\omega} \quad (1.10)$$

Первое слагаемое в (1.10) характеризует ошибку, обусловленную тем, что составляющие сигнала $x_d(t)$ на частотах $|\omega| > \pi/T_D$ не попадают в полосу пропускания фильтра, и совпадает по значению с (1.8). Второе слагаемое в (1.10) характеризует ошибку, обусловленную попаданием в полосу частот фильтра составляющих копий $S_x[j(\omega - 2\pi n/T_D)]$, $n = \pm 1, \pm 2, \dots$. Если ограничиться только влиянием копий с $n = \pm 1$, то нетрудно видеть, что второе слагаемое также совпадает по значению с (1.8). При этом

$$\delta_{от.ф}^2 = 2\delta_F^2 \quad (1.11)$$

и, следовательно, будет целесообразна предварительная фильтрация сообщения с целью ограничения его спектра.

Заметим, что обеспечить условие $G(f) = 0$ при $f > F_B$ путем фильтрации физически невозможно. Сигнал на выходе любого реализуемого фильтра будет содержать составляющие на частотах $f > F_B$. Поэтому ошибка (1.8) является минимально возможной.

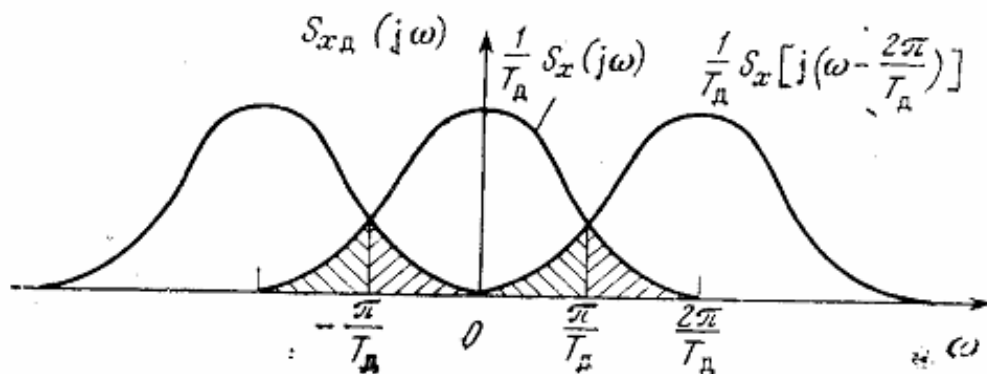


Рис. 2.10. Спектральная плотность дискретизированного сигнала

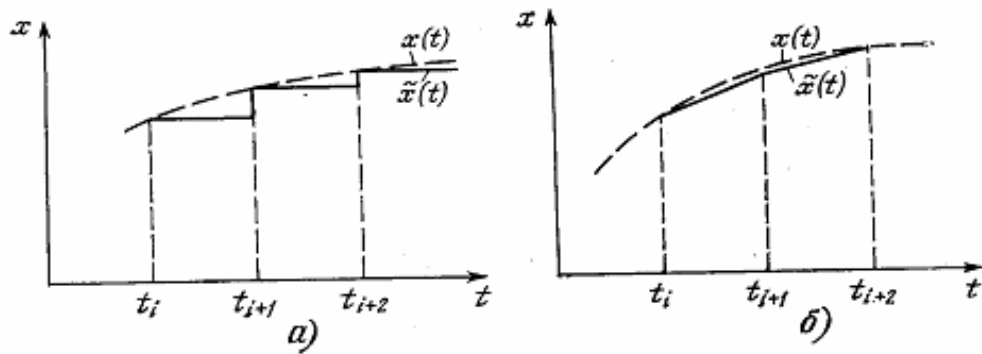


Рис. 2.11. Диаграммы, иллюстрирующие ступенчатую (а) и линейную (б) интерполяции

В общем случае восстановление (интерполяция) непрерывного сигнала $x(t)$ по его отсчётам выполняется в соответствии с (1.4). При этом в качестве базисных функций широко используют алгебраические полиномы. В частности, на практике часто применяются ступенчатая и линейная интерполяции.

При ступенчатой интерполяции (рис. 1.11, а) используется только один отсчёт. Функция $\phi_1(t) = 1$, а $\tilde{x}(t) = x(t_i)$, $t_i \leq t \leq t_i + T_d$.

При линейной интерполяции (рис. 1.11, б) используются два отсчёта.

Функции $\phi_1(t) = 1 - \tau/T_d$, $\phi_2(t) = \tau/T_d$, а $\tilde{x}(t) = x(t_i) + [x(t_{i+1}) - x(t_i)]\tau/T_d$, $t_i \leq t \leq t_i + T_d = t_{i+1}$, $\tau = t - t_i$.

Относительный средний квадрат погрешности интерполяции зависит от нормированной корреляционной функции $r_x(\tau)$ исходного процесса $X(t)$, способа интерполяции и частоты дискретизации. Для любых стационарных процессов с нулевым математическим ожиданием при ступенчатой интерполяции

$$\delta^2 = 2 \left[1 - \frac{1}{T_d} \int_{-T_d/2}^{T_d/2} r_x(\tau) d\tau \right], \quad (1.12)$$

при линейной интерполяции

$$\delta^2 = \frac{5}{3} + \frac{1}{3} r_x(T_d) - \frac{4}{T_d} \int_0^{T_d} r_x(\tau) d\tau + \frac{4}{T_d^2} \int_0^{T_d} \tau r_x(\tau) d\tau. \quad (1.13)$$

При заданной погрешности интерполяции формулы (1.12) и (1.13) используются для нахождения частоты дискретизации. Расчеты показывают, что на практике частота ФД существенно превышает частоту дискретизации по Котельникову. Так, для сигнала с прямоугольной спектральной плотностью мощности, ограниченной частотой F_{\max} , отношение $F_d/2F_{\max}$ равно $\pi/6\delta$ при ступенчатой интерполяции и $\pi/\sqrt[4]{600\delta^2}$ при линейной.

1.5 Адаптивная дискретизация непрерывных сообщений

В данном случае координатами являются мгновенные значения непрерывного сигнала в некоторых точках опроса, неравноотстоящих друг от друга (рис. 2.12). На интервалах, где функция меняется в больших пределах, отсчеты берутся чаще, а на интервалах медленного изменения - реже. Для представления сообщения стараются использовать как можно меньшее число отсчетов, но достаточное для восстановления сообщения с заданной погрешностью.

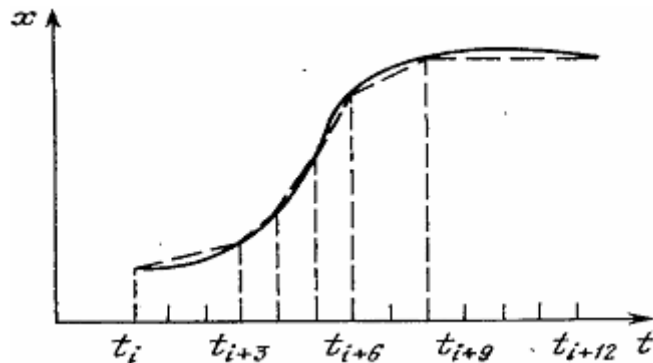


Рис. 2.12. Пример размещения существенных выборок при линейной интерполяции

Отсчеты, позволяющие восстановить непрерывное сообщение на приемной стороне с заданной точностью, называются обычно существенными.

Известны различные способы адаптивной дискретизации, отличающиеся алгоритмом формирования существенных отсчетов и видом служебной информации. Простейший алгоритм формирования существенных отсчетов заключается в следующем. Пусть последний существенный отсчет был в момент t_i . Для формирования следующей выборки сравнивают текущее значение функции $x(t)$ с $x(t_i)$. Момент $t_i + j$, при котором $|x(t_i + j) - x(t_i)| = \varepsilon_m$, соответствует очередной существенной выборке.

При адаптивной дискретизации отсчеты передаются в случайные моменты. Поэтому для восстановления непрерывного сообщения по отсчетам приемная сторона должна знать, к каким тактовым моментам относятся принятые отсчеты. В связи с этим на приемную сторону приходится передавать дополнительную служебную информацию. Такой информацией могут быть значения тактовых моментов, соответствующих существенным выборкам.

При сравнении различных способов представления это обстоятельство необходимо учитывать.

Адаптивные способы дискретизации широко применяют при отсутствии априорной информации о корреляционной функции или спектральной плотности мощности непрерывных сообщений.

Описание приборов, используемых в работе

Лабораторная установка состоит из набора функциональных узлов или блоков, моделирующих систему связи (слева направо):

- источники сигналов;
- блоки КОДЕР-1, АЦП и сумматор;
- сменные блоки (в середине стенда), в данной работе используется блок «ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА»
- светодиодные табло переданного и принятого сообщения, ЦАП и блок контроля ошибок;
- блок индикации, в котором расположены измерительные приборы постоянного и переменного напряжения, а также движковый потенциометр напряжения смещения;
- Персональный компьютер (ПК).

В блоке **ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ** представлены:

- генератор гармонических сигналов с частотами 1кГц, 2кГц и 110кГц с регуляторами выхода ($0 \div 1,5$); (точные значения этих частот зависят от номинала кварцевого резонатора, используемого в данной модификации стенда);
- амплитудный модулятор с несущей частотой 110кГц и частотой модуляции 1кГц. Уровень несущей и глубина модуляции (m) регулируются в пределах $0 \div 1,5V$ и $0 \div 1V$ соответственно;
- генератор шума (ГШ) с регулировкой выходного сигнала (квазибелый шум в полосе не менее 10Гц-100кГц);
- узлы синхронизации, вырабатывающие импульсные сигналы тактовой (C1) и цикловой (C2) синхронизации. Для C1 период $T=450\mu s$ (тактовый интервал). Период C2 $TЦ=17T$. Эти источники импульсных сигналов используются для внешней синхронизации осциллографа;
- источники гармонических сигналов f_1 и f_2 , используемые для получения дискретных видов модуляции; $f_1=27\text{кГц}$; $f_2=18\text{кГц}$;
- источник $\delta(t)$ - сигнала “ δ -функции”- прямоугольной формы с длительностью $t_u=5\mu s$ и периодом $17T$; амплитуда не менее 5В.
- источники сигналов $s_1 \div s_3$ - сигналов сложной формы, состоящих из двух гармоник (основная частота 2кГц).
- Источник сигнала s_4 -сигнала, состоящего из суммы первой и третьей гармоник с частотами 23 и 69 Гц (для исследования АЦП).

- Источники сигналов U_1 и U_2 -регулируемых постоянных напряжений (в пределах $-10 \div +10$ В);
- диапазонный низкочастотный генератор; имеет плавную и ступенчатую регулировку выходного сигнала ($0 \div 5$ В). Установка частоты (в пределах $20\text{Гц} \div 160\text{кГц}$) производится по встроенному частотомеру с цифровой индикацией.

Источником сигнала также служит цифровой генератор Tektronix серии AFG3000, который позволяет более гибко и в большем диапазоне управлять формой и параметрами создаваемых сигналов, вплоть до формирования функции произвольной формы.

В блоке КОДЕР-1 производится ручное формирование любой пятисимвольной комбинации с помощью тумблеров. Набранная комбинация индицируется на светодиодном табло с надписью ПЕРЕДАНО. (Такое же табло, но с надписью ПРИНЯТО, расположено над обозначением ДЕКОДЕР-1).

Блок АЦП является КОДЕРОМ-1 для аналоговых сигналов. На вход 1 блока АЦП подается входной аналоговый сигнал. Блок ЦАП имеет один вход и два выхода. Ниже блоков ЦАП и контроля ошибок расположены гнезда входов ПК с потенциометрами, регулирующими уровень сигналов, подаваемых на ПК. Связь стенда с ПК осуществляется через экранированный кабель, заканчивающийся разъёмом, который должен быть включён на вход звуковой платы ПК, работающей в режиме стерео, т.е. позволяет принимать два независимых сигнала. Программное обеспечение ПК позволяет наблюдать осциллограммы принятых сигналов и их спектры.

В данной работе используется сменный блок «ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА» (рис. 2.1), в состав которого входят дискретизатор и набор из трех фильтров - восстановителей с разными частотами среза. На рис. 2.1 дискретизатор отмечен знаком «X», представляющий собой перемножитель сигнала с последовательностью импульсов дискретизации) Источники исследуемых сигналов - S_1 , S_2 и S_3 находятся в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ, а сами сигналы представляют собой суммы гармоник с частотами 2, 4 и 6 кГц. (При необходимости исследуемый сигнал может быть усложнен добавлением еще одного гармонического сигнала с частотой 1кГц с помощью сумматора стенда).

Дискретизатор, формирующий отсчёты $x(k\Delta t)$ непрерывного сигнала $x(t)$, выполняет функцию перемножителя этого сигнала с короткими импульсами напряжения дискретизации ($u_{\text{дискр}}$). В данном случае дискретизатор выполнен по схеме аналогового коммутатора, пропускающего входной сигнал $s(t)$ на выход в течение короткого времени существования импульсов дискретизации.

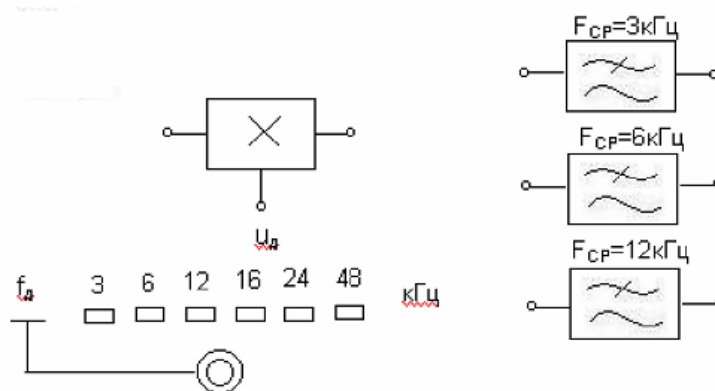


Рис. 2.1. - Основные узлы блока «ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА»

Временной интервал между соседними отсчётами дискретизированного сигнала $x(k\Delta t)$ зависит от выбора частоты дискретизации F_d : $\Delta t = 1/F_d$.

Эта частота может изменяться дискретно при нажатии кнопки "f_d", при этом выбранное значение этой частоты индицируется светодиодом ($F_d = 3, 6, 12, 16, 24$ и 48 кГц).

В качестве фильтров - восстановителей используются три активных ФНЧ четвертого порядка с частотами среза 3, 6 и 12 кГц. Для снятия импульсных характеристик фильтров используется сигнала генератора коротких импульсов "δ - функций" (гнезда $\delta(t)$ в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ).

В соответствии с теоремой Котельникова отсчёты, следующие через интервалы времени $\Delta t = 1/2F_v$, где F_v - верхняя частота сигнала, могут быть преобразованы в исходный сигнал после прохождения через идеальный ФНЧ с частотой среза $F_{CP} = F_v$. В работе используются реальные ФНЧ с достаточно крутыми спадами АЧХ после частоты среза. Поэтому на практике выбирают Δt несколько меньше (а иногда и в несколько раз меньше), чем требуется в теореме Котельникова с тем, чтобы реальный ФНЧ с АЧХ трапецевидной формы позволял выделить спектр исходного сигнала из спектра дискретизированного сигнала, что гарантирует отсутствие искажений при обратном преобразовании (восстановлении) сигнала.

В качестве измерительных приборов используются цифровой двухканальный осциллограф Tektronix TDS 1001B и ПК Приложение, установленное на ПК обладает функциями осциллографа и анализатора спектра. Внешний вид окон этого приложения в режимах осциллографа и анализатора спектра приведены на рис. 2.2 и 2.3 соответственно. Программа содержит органы управления, которые дают возможность масштабировать и перемещать графики по любой из осей, включать и отключать отображение данных по каждому каналу звуковой платы.

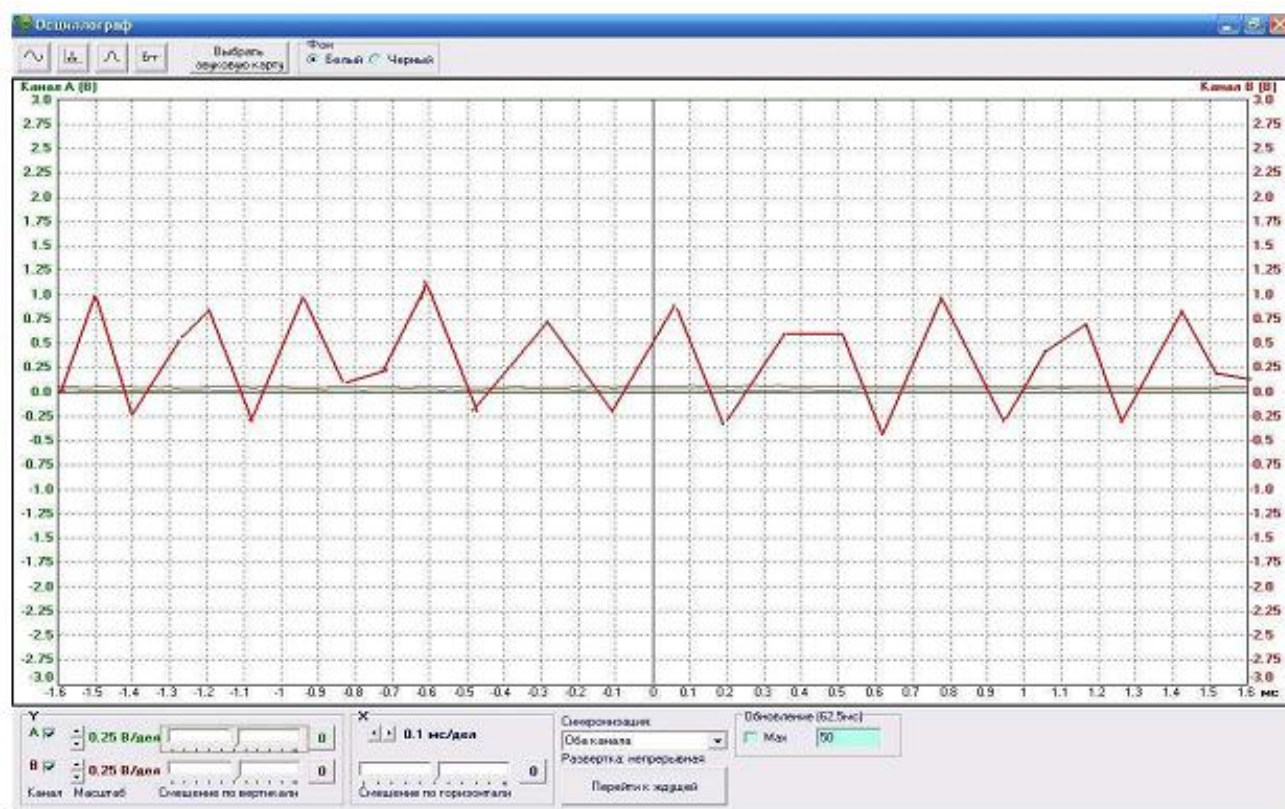


Рис 2.2. - Внешний вид окна приложения на ПК в режиме осциллографа

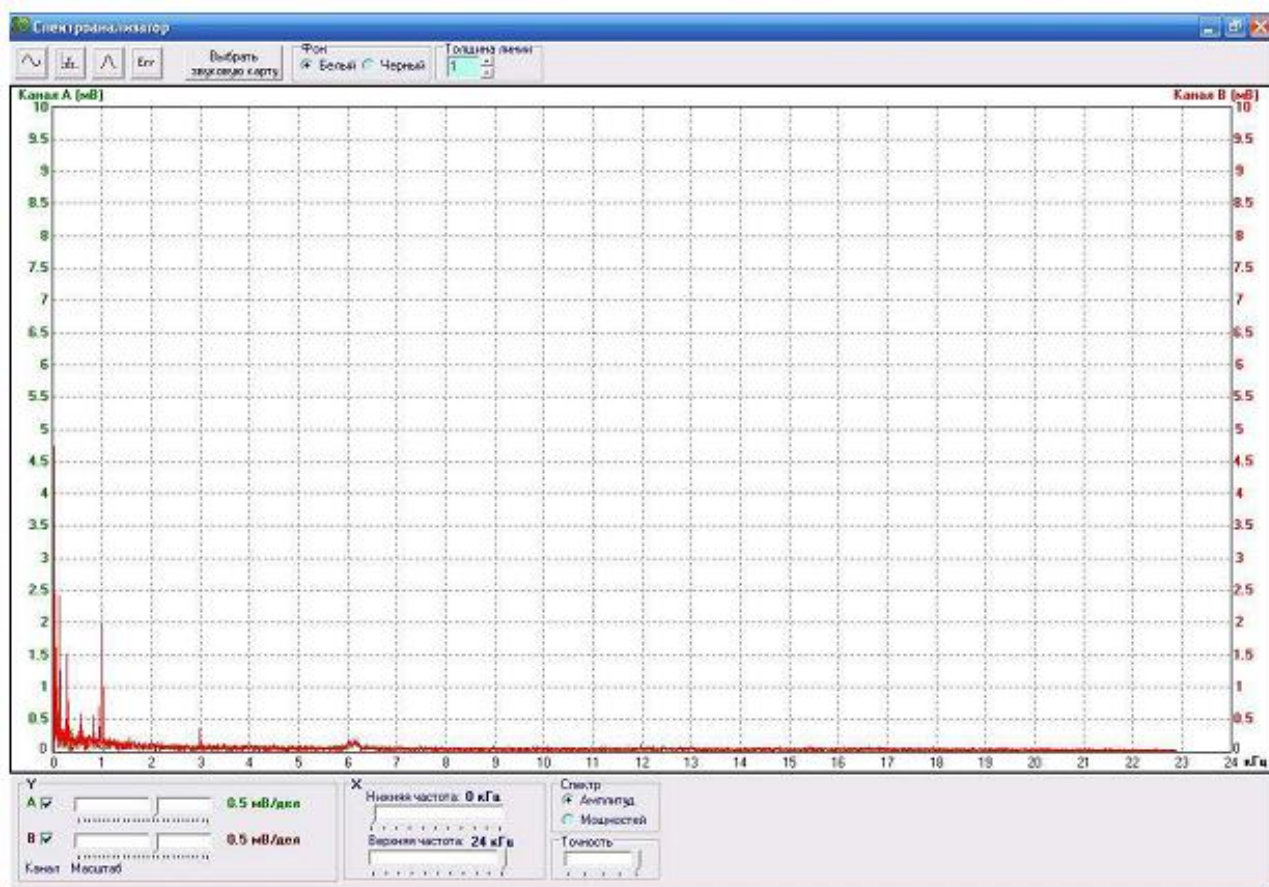


Рис 2.3.- Внешний вид окна приложения на ПК в режиме анализатора Спектра

Упражнение 1. Дискретизация сигнала. Исследование спектров исходного и дискретизированного сигналов

- Первым шагом работы является уточнение частот дискретизации F_D . Значения этих частот, указанных на сменном блоке, являются ориентировочными. Для определения их точных значения проведите спектральный анализ сигналов U_d (гнездо под перемножителем). Спектральный анализ следует провести с использованием программы на ПК в режиме спектроанализатора на ПК. Для этого гнездо U_d нужно соединить с гнездом входа "А" ПК.

Внимание! Перед использованием программы на ПК следует убедиться, что сигнал, поступающий на звуковую карту ПК, не претерпевает искажений из-за перегрузки входа звукового адаптера ПК. Вращением ручки потенциометра около входа "А" подберите такое положение, чтобы сигнал на временной диаграмме не менял свою форму при небольших поворотах ручки от выбранного положения. Данную корректировку нужно проводить при каждой смене источника сигнала, подаваемого на вход звуковой платы ПК.

- Определив частоты первых гармоник этих сигналов при установке $F_D=3, 6, 12$ и 16 кГц, внести уточненные значения в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 Уточненные частоты дискретизации (F_D).

Обозначение на блоке	кГц	3	6	12	16	24	48
Измеренное (рассчитанное)	кГц						

Для частот более 24 и 48 кГц спектральный анализ с помощью приложения на ПК невозможен (т.к. звуковая плата позволяет оцифровывать сигналы до $F_{max}=24$ кГц). Для нахождения точных значений последних двух частот выборки их следует умножить на тот же коэффициент, который связывает указанные на блоке и уточненные значения частот дискретизации. (Этот коэффициент – примерно 1,15 – может быть уточнен по первым четырем значениям F_D).

- Подайте на вход дискретизатора с генератора Tektronix серии AFG3000 гармонический сигнал с частотой 2 кГц. Чтобы выбрать форму сигнала на генераторе, нажмите на передней панели кнопку «Sine» («Синус»), а затем нажмите кнопку «Continuous» («Непрерывный»). Для включения выхода нажмите на передней панели кнопку «On». около выходного гнезда соответствующего канала (рис. 2.4). Чтобы изменить частоту, нажмите на передней панели кнопку быстрого доступа «Frequency/Period»

(«Частота/Период»). Чтобы изменить значение частоты, воспользуйтесь цифровой панелью клавиатуры и экранными кнопками «Единицы измерения». После ввода значений частоты нажмите кнопку экранного меню "Единицы измерения" или кнопку Ввод на передней панели, чтобы завершить ввод. Аналогично можно изменить значения амплитуды, фазы и сдвига (рис. 2.5). Можно также изменить параметры сигнала, используя универсальный манипулятор и клавиши со стрелками. Для увеличения значения того или иного параметра поверните манипулятор в направлении по часовой стрелке. Чтобы изменить цифровое значение, выберите его, нажимая кнопки со стрелками. Затем измените его поворотом манипулятора (рис. 2.5). Наблюдайте на осциллографе Tektronix временные диаграммы сначала исходного сигнала с генератора, затем дискретизируйте сигнал с различными частотами. Сделайте вывод о выборе допустимой минимальной частоте отсчётов.

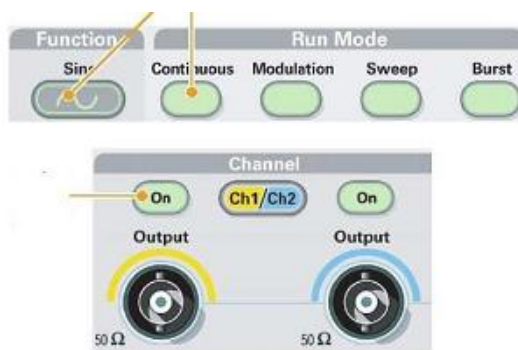


Рис.2.4. - Органы управления генератора Tektronix серии AFG3000, используемые для получения гармонического колебания



Рис.2.5.- Органы управления генератора Tektronix серии AFG3000, используемые для установки частоты гармонического колебания

- Пронаблюдайте спектры исходного сигнала с генератора и дискретизированного сигнала для различных частот выборки с помощью программы анализатора спектра на ПК и с помощью цифрового осциллографа Tektronix. Зафиксируйте их и поясните различия, учитывая тот факт, что осциллограф сам производит дискретизацию сигнала с некоторой частотой, которая отображается на его экране.

Для того, чтобы увидеть спектр на экране цифрового осциллографа, нажмите кнопку «MATH» («МАТЕМАТИКА») для вывода меню математических функций. Выберите канал-источник, алгоритм окна и коэффициент увеличения Быстрого преобразования Фурье (БПФ). Одновременно на экран можно вывести только один спектр. Содержимое экрана осциллографа при отображение спектра показано на рис. 2.6. Цифрами обозначены:

- 1 - Частота на центральной линии сетки;
- 2 - Масштаб по вертикали в дБ на деление;
- 3 - Масштаб по горизонтали, единица измерения - частота на деление;
- 4 - Частота дискретизации - числа выборок в секунду;
- 5 - Тип окна БПФ.

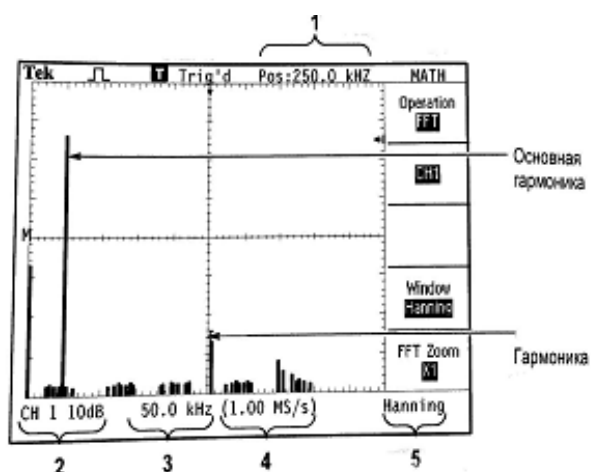


Рис. 2.6. - Вид окна осциллографа Tektronix в режиме анализатора спектра

- Изменяйте частоту гармонического сигнала от цифрового генератора с шагом 500 Гц и наблюдайте, как изменяется спектр сигнала на экране осциллографа. Частоту дискретизации F_D при этом выберите в середину диапазона допустимых значений (например, 12 кГц). Определите максимальную частоту гармонического сигнала, при которой верно определяется частота основной гармоники спектра. Найдите, как эта частота соотносится с частотой дискретизации. Сформулируйте вывод, о том, по какому принципу происходит искажение частоты основной гармоники при нарушении соотношения данной частоты с частотой дискретизации.

- Сформируйте на втором выходе цифрового генератора гармонический сигнал с частотой примерно вдвое выше частоты гармонического сигнала в первом канале генератора. Подключите оба выхода генератора к входам дискретизатора. Наблюдайте спектры дискретизированного сигнала для различных частот выборки с помощью цифрового осциллографа. Определите, частота какой из двух составляющих суммарного сигнала двух каналов цифрового генератора определяет минимально допустимую частоту дискретизации. Посмотрите спектральный состав при различных соотношениях частот в двух каналах цифрового генератора, при этом рекомендуется меньшую частоту оставить без изменений, а частоту сигнала в другом канале менять от значения близкого к частоте сигнала в первом канале генератора до ее пятикратного превышения. Зафиксируйте временные диаграммы и спектры дискретизируемого сигнала при различных соотношениях частот двух составляющих сигнала. Частоту дискретизации рекомендуется установить равной 12 или 16 кГц.
- Выберите один из трех сигналов (s_1 , s_2 или s_3 ,) в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ и подать его на вход "А" ПК, работающего в режиме спектроанализатора. (Входы ПК находятся в нижней части стенда справа)
- С помощью программы спектроанализатора на ПК получите спектр сигнала и определите его верхнюю частоту (F_B).
- Рассчитайте требуемую частоту дискретизации F_D согласно теореме Котельникова и установите ее на макете кнопкой " f_D ".
- Зафиксируйте в отчёте временные диаграммы в следующем порядке (с сохранением масштаба по оси времени) : исследуемый сигнал $s(t)$; напряжение дискретизации (гнездо нижнего входа перемножителя); выходной дискретизированный сигнал $s(k\Delta t)$.
- С экрана монитора ПК зарисуйте спектры перечисленных выше сигналов.
- Переключая кнопкой частоту дискретизации F_D на 1-2 шага выше и ниже выбранного значения F_D , наблюдайте изменения в осциллограммах и спектрах на выходе дискретизатора. Наиболее характерные случаи зафиксируйте в отчёте.

Упражнение 2. Исследование частотных и импульсных характеристик фильтров – восстановителей.

С целью выбора наилучшего из трех ФНЧ в качестве фильтра - восстановителя необходимо определить частоту среза каждого из них по АЧХ и по импульсной характеристике $g(t)$. Кроме того, АЧХ фильтров необходима для

последующей коррекции F_d , а импульсная реакция $g(t)$ нужна для объяснения процесса восстановления сигнала.

- Снятие АЧХ фильтра проводится путем подачи на его вход гармонического сигнала с напряжением 1В и с частотой 1кГц от цифрового генератора Tektronix серии AFG 3000, либо от встроенного генератора в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ. К выходу фильтра подключите встроенный цифровой вольтметр переменного напряжения. Плавно увеличивая частоту генератора, снимите частотную характеристику $U_{\text{ВЫХ}} = \phi(f)$ с шагом 1 кГц так, чтобы зафиксировать частоту среза F_c , на которой $U_{\text{ВЫХ}}$ окажется в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем на частоте 1кГц, а также частоты, на которых $U_{\text{ВЫХ}}$ уменьшится до 0,1 и 0,05 от $U_{\text{ВЫХ}}(1\text{кГц})$. Постройте на одном графике АЧХ трех фильтров и отметьте на них уточненные значения частот среза F_c . Выбрать лучший фильтр - восстановитель для исследуемого сигнала.
- Снятие импульсной реакции ФНЧ производится путем подачи на вход фильтра коротких импульсов (от гнезда " $\delta(t)$ " блока "ИСТОЧНИКИ"). Осциллограмма выходного сигнала будет соответствовать импульсной реакции фильтра $g(t)$. Зарисуйте осциллограммы $g(t)$ для трех фильтров, фиксируя на них значения "нулей" (см. рис. 2.7) по шкале на экране осциллографа с учетом масштаба развертки (мкс/дел). Определив Δt^1 для каждого ФНЧ, находим частоты среза по формуле: $F_c = 1/(2 \Delta t^1)$.

По 2 вышенаписанным пунктам выберите фильтр, наиболее пригодный для восстановления дискретизированного сигнала согласно теоретическим соотношениям.

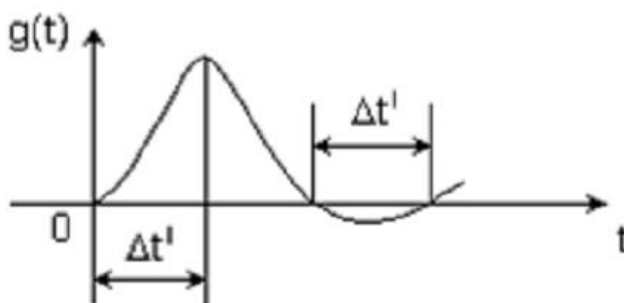


Рис. 2.7.- Иллюстрация способа оценки параметра Δt^1 по импульсной характеристике фильтра

Упражнение 3. Исследование процесса восстановления дискретизированных сигналов.

- Сопоставляя спектры, снятые по п.1.3. д с частотной характеристикой выбранного фильтра - восстановителя, скорректируйте частоту дискретизации, увеличив ее на 1 - 2 шага от расчетного значения с тем, чтобы спектр сигнала $s(t)$, который исследовался в задании 1.3 можно было вы-делить из спектра дискретизированного сигнала с помощью выбранного реального ФНЧ.
- Соедините выход дискретизатора со входом выбранного ФНЧ, установить на макете уточненное в п.3.1. значение $F_{д.}$. Подключив один из входов осциллографа ко входу дискретизатора, а второй - к выходу ФНЧ, зафиксируйте в отчёте осциллограммы исходного и восстановленного сигнала.
- Изменяя частоту дискретизации на 1 - 2 шага от скорректированного значения $F_{д.}$, зафиксируйте наиболее характерные осциллограммы восстановленных сигналов. В отчёте приведите заключение о том, допустимо ли изменять интервал между отсчётами дискретизированного сигнала.
- Установив прежнее значение $F_{д.}$, замените выбранный ФНЧ на другой, а затем и на третий фильтр, фиксируя в отчёте осциллограммы восстановленных сигналов с указанием частоты F_c ФНЧ.

Упражнение 4. Исследование процесса дискретизации и восстановления для периодической последовательности импульсов

- Получите последовательность импульсов одним из перечисленных ниже Способов:
 - а) Соедините вход дискретизатора с источником периодической последовательности прямоугольных импульсов, в качестве которого используется КОДЕР-1. Установите тумблерами КОДЕРА-1 любую комбинацию из од-ной единицы и четырех нулей. При этом на выходе КОДЕРА-1 формиру-ются прямоугольные импульсы длительностью 450 мкс с периодом 7650 мкс.
 - б) На цифровом генераторе Tektronix серии AFG3000 выберите один из типов сигнала: прямоугольный импульс, треугольный импульс, гауссовский импульс.
- Проведя анализ спектра сигнала, полученного в пункте 4.1, выберите $F_{д.}$ и фильтр восстановитель согласно теореме Котельникова. Зафиксируйте

осциллограммы и спектры входного, дискретизированного и восстановленного сигналов. Пронаблюдайте, какие искажения возникают при нарушении условий дискретизации и восстановления по теореме Котельникова.

Задание 5. Исследование процесса дискретизации узкополосного сигнала.

- С помощью цифрового генератора Tektronix серии AFG3000 сформируйте амплитудно-модулированный сигнал. При этом установите следующие параметры: частота дискретизации 12 кГц или выше; частота несущей ровно в 10 раз выше частоты выборки; частоту модуляции задайте равной 1 кГц, форму модуляции выберите в виде прямоугольной или треугольной функции. Наблюдайте осциллограммы непрерывного и дискретизированного сигнала, зафиксируйте их.
- В качестве фильтра-восстановителя выберите фильтр с наименьшей полосой пропускания. Зафиксируйте осциллограммы исходного и восстановленного сигнала.
- Меняя частоту несущей в пределах 20% от первоначально установленной, посмотрите, как будут меняться графики на экране осциллографа.
- Объясните полученные результаты.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ:

1. Изучите методические указания к лабораторной работе:
2. Выполните упражнения.
3. Оформите отчет по лабораторной работе

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте теорему Котельникова.
2. При каких условиях теорема Котельникова обеспечивает двойное преобразование сигналов (дискретизация и восстановление) без искажений?
3. Могут ли быть дискретизированы и затем восстановлены импульсы прямоугольной формы?
4. Каков алгоритм восстановления дискретизированного сигнала?
5. Какова роль ряда Котельникова в объяснении процесса восстановления сигнала?
6. Какую функцию выполняет ФНЧ?
7. С какой целью в работе исследовались спектры исходного и дискретизированного сигналов?
8. Можно ли произвольно увеличивать или уменьшать Δt между отсчётами? К чему это может привести?
9. С чем связана необходимость корректировать значение частоты дискретизации?
10. Как Вы представляете себе процесс дискретизации аналогового сигнала? Какие функциональные узлы для этого необходимы?
11. Все ли аналоговые сигналы могут быть:
 - дискретизированы во времени;
 - восстановлены после дискретизации.
12. Назовите причины, вызывающие искажения при восстановлении дискретизированных сигналов.

Содержание отчета:

1. Описать ход работы
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа №3:

«Исследование спектров сигналов»

Цель работы: Исследование формы и спектра гармонических сигналов и периодических последовательностей импульсов. Формирование навыков спектрального анализа сигналов.

Общие сведения из теории

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНАЛИЗЕ СПЕКТРА

Анализ формы электрических сигналов, т.е. зависимости напряжения или тока от времени, широко используется для получения информации о качестве различных устройств. Однако зависимость от времени в ряде случаев не обладает достаточно высокой чувствительностью к изменениям сигнала. Значительно более чувствительной является форма спектра сигнала. Представление сигнала в частотной области как суммы гармонических составляющих с различными частотами, амплитудами и начальными фазами, необходимо также при решении проблемы электромагнитной совместимости, т. е. обеспечения работы многих радиоэлектронных средств в ограниченном диапазоне частот.

Использование преобразователей неэлектрических величин в электрические позволяет распространить радиотехнический спектральный анализ на области механики, акустики, медицины и других наук.

Как известно, любой периодический сигнал можно представить в виде комбинации гармонических колебаний. Совокупность амплитуд и частот гармоник в разложении Фурье называют спектром сигнала.

Рассмотрим разложение периодических функций в ряд Фурье. Известно, что произвольная функция, имеющая на интервале (t_1, t_2) не более конечного числа точек разрыва и абсолютно интегрируемая на этом интервале, может быть представлена рядом по ортонормированной системе функций – ортонормированному базису. Свойство ортонормированности функций означает, что для любой пары функций из последовательности выполняется условие

$$\int_{t_1}^{t_2} v_k(t) v_m(t) dt = \begin{cases} 0 & \text{при } k \neq m \\ 1 & \text{при } k = m \end{cases} \quad (1)$$

Пусть $u(t)$ - произвольный сигнал, действующий на отрезке времени (t_1, t_2) , а $v_1(t), v_2(t), \dots, v_K(t), \dots$ представляют ряд ортонормированных функций на том же интервале. Тогда $u(t)$ может быть представлена в виде обобщенного ряда Фурье [1]:

$$u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k v_k(t), \quad (2)$$

где c_k - постоянные коэффициенты. Для нахождения c_k умножаем обе части (2) на $v_k(t)$ и интегрируем в пределах (t_1, t_2) . В полученном равенстве справа будет единственный член суммы (для которого $k = m$) не равный нулю. Для него находим

$$c_m = \int_{t_1}^{t_2} u(t) v_m(t) dt. \quad (3)$$

Возьмем в качестве базиса разложения совокупность тригонометрических функций кратных аргументов:

$$v_0 = 1/\sqrt{T}, \quad v_1(t) = \sin(\omega_0 t)/\sqrt{(2/T)}, \quad v_2(t) = \cos(\omega_0 t)/\sqrt{(2/T)}, \\ v_3(t) = \sin(2\omega_0 t)/\sqrt{(2/T)}, \quad v_4(t) = \cos(2\omega_0 t)/\sqrt{(2/T)}, \dots,$$

где $\omega_0 = 2\pi/T$ - основная частота последовательности функций $v_k(t)$; T - период функций. Вычисляя интегралы (1) можно убедиться, что система тригонометрических функций является ортонормированной на периоде T .

В соответствии с (2) для произвольного периодического сигнала $u(t)$ ряд Фурье в базисе гармонических функций записывают в виде

$$u(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (4)$$

Или

$$u(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(n\omega_0 t + \varphi_n). \quad (5)$$

Коэффициенты (4) и (5) в соответствии с (3) вычисляются по формулам:

$$a_n = \int_{-T/2}^{T/2} u(t) \cos(n\omega_0 t) dt, \quad b_n = \int_{-T/2}^{T/2} u(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad (6) \\ c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \varphi_n = \arctg(b_n/a_n).$$

Здесь c_n – амплитуды, φ_n - фазы гармоник в разложении Фурье.

Разложение сигнала в ряд по гармоническим функциям (4) или (5) называют его спектральным представлением или спектром сигнала в базисе гармонических функций. Спектр периодического сигнала состоит из отдельных линий, соответствующим дискретным частотам и называется линейчатым.

В теории сигналов широко применяется комплексная форма ряда Фурье, к которой можно перейти на основании формулы Эйлера:

$$\cos(n\omega_0 t + \varphi_n) = \frac{1}{2} e^{j\varphi_n} e^{jn\omega_0 t} + \frac{1}{2} e^{-j\varphi_n} e^{-jn\omega_0 t}.$$

Подставляя это выражение в (5), получаем

$$u(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_n}{2} e^{j\varphi_n} e^{jn\omega_0 t} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_n}{2} e^{-j\varphi_n} e^{-jn\omega_0 t}, \quad (7)$$

$$\bar{c}_n = \frac{c_n}{2} e^{j\varphi_n}$$

где \bar{c}_n – комплексная амплитуда n -й гармоники. Эта амплитуда находится путем умножения обеих частей (7) на комплексно-сопряженную величину $\exp(-jn\omega_0 t)$ (ортогональную $\exp(jn\omega_0 t)$) и интегрирования на интервале T . Прделав преобразования можно получить

$$\bar{c}_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u(t) e^{-jn\omega_0 t} dt. \quad (8)$$

Например, рассчитанный с помощью (7) и (8) спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов будет иметь огибающую вида $\sin x/x$ с максимумом на нулевой частоте и с узлами в точках $\omega_k = k2\pi/T$, где T – длительность импульсов, $k = 1, 2, 3, \dots$. Расстояние между соседними линиями в спектре равно $2\pi/T$, где T – период следования импульсов.

При анализе спектра непериодических импульсных сигналов можно использовать следующий прием: импульс продлевается на оси времени так, чтобы получилась периодическая последовательность с периодом T . Затем период T устремляется к бесконечности. При этом частота основной гармоники ряда Фурье $\omega_0 = 2\pi/T$ будет стремиться к нулю. Соседние спектральные составляющие ряда Фурье станут сколь угодно близки друг к другу и дискретный спектр превращается в сплошной. Поэтому в (7) сумма заменяется на интеграл, а ω на $d\omega$.

Тогда для формы импульса можно записать

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{S} e^{j\omega t} d\omega. \quad (9)$$

Здесь

$$\bar{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-j\omega t} dt \quad (10)$$

– спектральная плотность импульса. Формулы (9) и (10) – обратное и прямое преобразования Фурье. По ним можно восстановить форму импульса и найти его спектральную плотность соответственно.

Комплексная функция (10) может также быть записана в виде

$$\bar{S}(\omega) = S(\omega) e^{j\varphi(\omega)}. \quad (11)$$

Модуль спектральной плотности $S(\omega)$ называют амплитудно-частотной характеристикой импульсного сигнала, а $\varphi(\omega)$ – его фазо-частотной характеристикой.

Измерительные приборы, предназначенные для анализа спектров и измерения его параметров, называются **спектроанализаторами (СА)**.

Известны два основных метода измерения характеристик спектра сигналов:

- метод фильтрации;
 - вычисление преобразования Фурье (ПФ) цифровыми средствами.
- Существует несколько разновидностей анализаторов первого типа:
- анализ спектра набором полосовых фильтров (параллельный анализ);
 - анализ спектра с помощью перестраиваемого фильтра или гетеродинированием (последовательный анализ);
 - анализ с помощью дисперсионных линий задержки.

Вычисление ПФ имеет определенные достоинства при анализе спектров низких частот (до 107 Гц) связанные с тем, что выборка сохраняется в электронной памяти анализатора и над ней можно производить любые операции.

Все анализаторы в зависимости от способа измерения разделяют на приборы последовательного и одновременного (параллельного) анализа.

Приборы последовательного типа содержат фильтр, а анализ спектра производится путём перестройки фильтра по частоте или гетеродинного преобразования исследуемого спектра.

Приборы второго типа отличаются тем, что спектр анализируемого процесса на определенном участке частот, определяемом "окном", воспроизводится почти одновременно с исследуемым процессом. Поэтому говорят, что они работают в реальном масштабе времени. К ним относятся анализаторы параллельного действия, дисперсионные анализаторы спектра и вычислительные анализаторы.

2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА СПЕКТРА СИГНАЛОВ

2.1 Цифровой анализ спектра

Этот метод является наилучшим в диапазоне частот от нуля до нескольких сотен мегагерц. Он отличается высокой точностью, хорошим разрешением, линейностью и динамическими амплитудными характеристиками. Метод непосредственного преобразования Фурье основан исключительно на цифровой обработке данных. Сначала берётся выборка анализируемого сигнала через интервал времени Δt , затем элементы выборки преобразуются в цифровую форму и при помощи быстрых цифровых преобразований вычисляется Фурье-образ сигнала.

Верхний предел частоты в спектре анализируемого сигнала должен быть равен $1/(2\Delta t)$ (частота Найквиста или Шеннона).

На рис.3. 1 приведена упрощенная схема фурье-анализатора. Все операции выполняются в анализаторе в цифровом виде, за исключением

предварительной фильтрации входного сигнала. Фильтр (ФНЧ) отсекает все частоты, превышающие половинную частоту дискретизации, так как они отражаются относительно неё и переносятся на более низкие частоты.

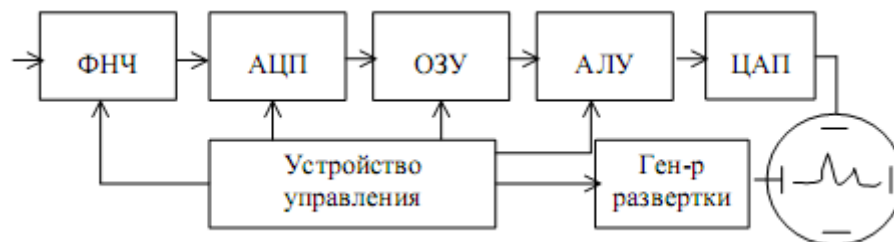


Рис. 3.1. Схема фурье-анализатора

Возникает так называемый эффект наложения, искажающий исходный спектр. Частотная характеристика фильтра должна иметь в этой области крутой излом. Отфильтрованный сигнал сначала подвергается дискретизации, затем элементы выборки преобразуются в цифровой код (АЦП) и поступают в память (ОЗУ). За интервал времени, в течение которого анализатор открыт для приёма входного сигнала, в память записывается N элементов выборки.

Преобразование Фурье сигнала, представленного выборкой выполняется по формуле:

$$S(m) = \sum_{k=0}^{N-1} u(k) \left(\cos \frac{2\pi mk}{N} - j \sin \frac{2\pi mk}{N} \right), \quad (12)$$

где $u(k)$ - случайный сигнал, $S(m)$ - его спектр; $m, k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ (m соответствует частоте, k - времени).

Вычисления проводятся с помощью арифметического устройства (АЛУ), в котором находятся заранее протабулированные значения синусов и косинусов всех необходимых углов в пределах $0 \dots 360^\circ$. Необходимо хранить в памяти лишь $N/4$ значений каждой из функций для первого квадранта, из которых легко получаются все остальные.

После поступления цифрового кода амплитуды элемента выборки в память арифметическое устройство производит его умножение на соответствующие тригонометрические функции для всех значений m , образуя действительную и мнимую части преобразования и выполняет другие действия по алгоритму быстрого фурье-преобразования. Спектр мощности входного сигнала, вычисляется затем по формуле:

$$W(m) = [\operatorname{Re} S(m)]^2 + [\operatorname{Im} S(m)]^2. \quad (13)$$

N элементов выборки дают $N/2$ действительных и $N/2$ мнимых компонент, т.е. из выборки объёмом 1024 получится спектр из 512 точек.

Действительные компоненты преобразования несут информацию об амплитуде, а мнимые о фазе образа Фурье. Если N объём выборки, то требуемая

длительность сигнала равна $T = N\Delta t$, спектральное разрешение $\Delta\nu = 1/T = 1/N\Delta t$.

После преобразования в аналоговую форму (ЦАП) спектр выводится на экран ЭЛТ. Развёртка по оси частот осуществляется пилообразным напряжением (Ген. развертки), величина которого пропорциональна частоте.

Для получения N точек Фурье-образа необходимо выполнить N^2 комплексных операций умножения и сложения. Для уменьшения числа операций используется алгоритм быстрого ПФ (алгоритм Кули-Тьюки), который устраняет избыточность и использует соображения симметрии в расчётах. По этому алгоритму требуется только $N\log_2 N$ операций, если число элементов в выборке представляет собой степень числа 2. Таким образом, скорость вычислений возрастает в $N/\log_2 N$ раз. Если, например $N = 2^{10} = 1024$, то $N^2 = 1\,043\,576$, $N\log_2 N = 10\,240$ и выигрыш во времени составляет 102 раза.

Длительность временного интервала, в течение которого фурье-анализатор принимает входную информацию (временное окно) влияет на результаты анализа. Конечная длительность временного окна при обработке периодического сигнала приводит к тому, что каждая спектральная линия сопровождается боковыми выбросами. Причина их образования подключение и отключение сигнала от входа анализатора.

Пульсации в спектре можно сильно подавить устраняя резкие перепады сигнала на границах окна путём умножения его на плавно меняющуюся функцию, обращающуюся в нуль на границах окна (весовая функция). Недостаток этого приема заключается в существенном уширении спектральной линии.

2.2 Анализ спектра методом фильтрации

Метод фильтрации состоит в выделении спектральных составляющих сигнала с помощью узкополосного фильтра. Метод реализуется путем параллельного (одновременного) или последовательного анализа.

Параллельный анализ осуществляется с помощью ряда узкополосных фильтров, каждый из которых выделяет одну составляющую спектра.

Последовательный анализ состоит в выделении отдельных составляющих либо с помощью одного узкополосного перестраиваемого фильтра, либо путем такого преобразования частоты исследуемого сигнала, при котором в полосу фильтра поочередно попадают спектральные составляющие сигнала с различными частотами.

При параллельном анализе для анализа сигнала с полосой Δf необходимо n фильтров с полосой $\Delta f_{\Phi} = \Delta f/n$. Полоса пропускания и форма АЧХ фильтра определяют статическую разрешающую способность СА.

Только при идеальной прямоугольной частотной характеристике фильтра разрешающая способность анализатора равна Δf_{Φ} . На практике можно говорить лишь о приближении к идеальной прямоугольной форме.

Поэтому $\Delta f_{\Phi} = q \Delta f_{\Phi}$, где $q > 1$. Скорость анализа $v = n \Delta f_{\Phi}^2$ резко снижается при сужении полосы фильтра.

Структурная схема спектроанализатора параллельного типа проста.

Выходные напряжения, снимаемые с каждого фильтра, подаются на свой детектор. Напряжения с нагрузок детекторов коммутируются и подаются на вертикально отклоняющие пластины осциллографа. На X-пластины подают напряжение развертки. На экране появляется изображение спектра.

Достоинства анализатора параллельного действия: малое время анализа и возможность анализировать спектры одиночных импульсов.

Однако из-за сложности системы фильтров они не получили широкого распространения.

Спектроанализаторы последовательного типа наиболее широко используются на практике. Структурная схема анализатора изображена на рис.3.2.

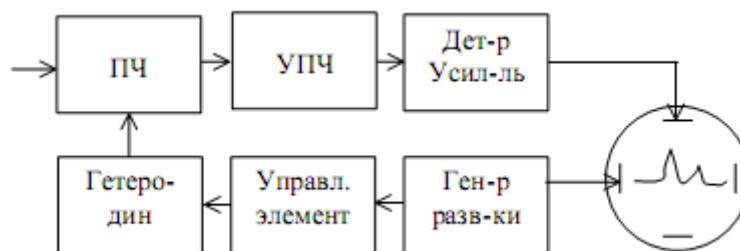


Рис. 3.2 Структурная схема спектроанализатора

Исследуемый сигнал в виде радиоимпульсов поступает на вход преобразователя частоты (ПЧ). На выходе смесителя образуются радиоимпульсы длительностью τ , с частотой заполнения $f_{\text{СИГН}} - f_{\text{ГЕТ}}$. При изменении частоты гетеродина все составляющие спектра последовательно будут попадать в полосу пропускания усилителя промежуточной частоты (УПЧ). Таким образом, с выхода усилителя будут сниматься радиоимпульсы с частотой заполнения, равной промежуточной частоте, и с амплитудой, пропорциональной спектральной составляющей сигнала.

После детектирования и усиления видеоимпульсы подаются на Y-пластины ЭЛТ. На X-пластины подается линейное напряжение генератора развертки, которое является модулирующим напряжением при частотной модуляции гетеродина. На экране ЭЛТ составляющие спектра будут представляться как выбросы, имеющие конечную ширину, определяемую формой АЧХ усилителя промежуточной частоты. Амплитуда выбросов на экране будет пропорциональна спектральной плотности импульсов разностной

частоты, а их огибающая представляет собой искомую спектральную характеристику. Если детектор квадратичный, то получается огибающая спектра мощности.

Разрешающая способность при последовательном анализе такая же, как при параллельном. Время анализа зависит от ширины исследуемой области частот и избирательности анализирующего фильтра. Если анализ в полосе частот фильтра $\Delta f_{ПЧ}$ происходит за время $\tau = 1/\Delta f_{ПЧ}$, то полное время анализа в диапазоне частот $\Delta f = f_B - f_H$ будет в $\Delta f/\Delta f_{ПЧ}$ больше, т. е.

$$T_{мин} = \Delta f/\Delta f_{ПЧ} \cdot 1/\Delta f_{ПЧ} = \Delta f/\Delta f_{ПЧ}^2 \quad (14),$$

где $T_{мин}$ - минимальная продолжительность анализа, при которой не ухудшается разрешающая способность анализатора. Видим, что время анализа с уменьшением ширины полосы анализирующего фильтра резко возрастает. Поэтому для обеспечения разрешающей способности в несколько единиц герц последовательный анализ не применяется. Нижний предел частотного диапазона анализаторов последовательного типа ограничивается частотой 5 ... 10 Гц.

2.3 Ускоренный анализ спектра

Существуют способы анализа спектров, позволяющие уменьшить время анализа без ухудшения разрешающей способности. Рассмотрим два способа.

Первый состоит в автоматическом управлении скоростью перестройки гетеродина. Пусть исследуемый спектр дискретный. Интервал между соседними линиями спектра может во много раз превышать ширину полосы пропускания анализирующего фильтра.

Идея состоит в том, чтобы уменьшить время анализа за счет увеличения скорости перестройки частоты гетеродина в промежутках между выбросами на экране. Скорость перестройки устанавливается автоматически с помощью напряжения, снимаемого с нагрузки детектора.

Когда составляющие спектра находятся вне полосы пропускания УПЧ, напряжение на выходе детектора близко к нулю. В эти промежутки времени скорость устанавливается большой, соответствующие участки спектра просматриваются быстро, за короткое время. Когда в полосу УПЧ попадает составляющая спектра, на выходе детектора появляется управляющий сигнал, который после усиления и ограничения до определенного значения подается на перестраиваемый гетеродин.

Воздействие управляющего сигнала на гетеродин приводит к уменьшению скорости перестройки до уровня, при котором осуществляется анализ.

Такая скорость будет сохраняться в течение времени, пока составляющая спектра будет находиться в пределах полосы пропускания УПЧ.

Приведенный способ позволяет уменьшить время анализа в 20-25 раз.

Другой способ состоит в преобразовании исследуемого сигнала во времени. Возникающие на низких и инфранизких частотах трудности спектрального анализа требуют применения такого преобразования, при котором исследуемый сигнал сжимается во времени.

Принцип действия преобразователя состоит в предварительном преобразовании сигнала, поступающего в анализатор спектра. Из анализируемого сигнала берутся выборки мгновенных значений. Частота выборок определяется по теореме Котельникова максимальной частотой спектра сигнала. Выборки мгновенных значений сигнала с помощью аналого-цифрового преобразователя преобразуются в цифровой код и последовательно заносятся в запоминающее устройство (ЗУ). Записанная в ЗУ информация считывается, но со скоростью, значительно превышающей скорость записи. Затем считанная информация преобразуется в аналоговую форму. Получаем, таким образом, сжатую во времени копию сигнала, которая может быть исследована анализатором последовательного типа.

Если получена копия, длительность которой в n раз меньше оригинала, спектр ее увеличивается в n раз. Соответственно можно увеличить полосу пропускания анализирующего фильтра и, тем самым, уменьшить время анализа. Применяя фильтр ПЧ с полосой $n\Delta f_{ПЧ}$ можно в соответствии с выражением (14) уменьшить время требуемое для анализа в n раз.

Применение временного сжатия сигнала на низких и инфранизких частотах позволяет получать результаты анализа спектра в темпе поступления входной информации, т. е. работать в реальном времени даже при дальнейшем последовательном анализе.

2.4. ДИСПЕРСИОННО-ВРЕМЕННОЙ МЕТОД АНАЛИЗА СПЕКТРА

Сущность метода состоит в использовании для анализа спектра дисперсионной линии задержки (ДЛЗ), т. е. устройства, в котором задержка сигнала зависит от его частоты. Различные частотные составляющие спектра исследуемого сигнала задерживаются в ДЛЗ на различное время и в результате снимаются с выхода линии в различные моменты времени. Выделенная детектором огибающая отклика, наблюдаемая на экране осциллографа, представляет собой спектр входного сигнала.

Применение дисперсионно-временного метода позволяет упростить устройство анализаторов параллельного типа, построить анализатор в реальном

масштабе времени, т. е. получать результаты в темпе поступления входного сигнала, а также обеспечить анализ спектров одиночных и редко повторяющихся импульсов.

В дисперсионных спектроанализаторах используются дисперсионные линии задержки, обладающие постоянством модуля коэффициента передачи $K(\omega) = \text{const}$ и квадратичной фазовой характеристикой где $\varphi(\omega) = \tau_1(\omega - \omega_1) + (\omega - \omega_1)^2 / 2\mu$,

Где ω_1 - нижняя граничная частота рабочего диапазона; τ_1 - задержка на частоте ω_1 ; $\mu = B/T$ – скорость изменения частоты, B - полоса пропускания, T - длительность импульсной характеристики ДЛЗ. Групповое время задержки сигнала $\tau_g = d\varphi(\omega)/d\omega = (\omega - \omega_1)/\mu + \tau_1$ является линейной функцией его частоты ω . Пределы линейного изменения задержки берутся намного большими, чем длительность входного радиоимпульса.

При анализе одиночных и редко повторяющихся радиоимпульсов (с большой скважностью) исследуемый импульс проходит через ДЛЗ без предварительного преобразования. Развертка осциллографа запускается исследуемым импульсом. На экране наблюдается огибающая выходного напряжения - $U(t) = (K(\omega)/\sqrt{\pi/2\mu})S(\omega)$, которая воспроизводит модуль спектральной функции импульса $S(\omega)$, развёрнутый во времени. $K(\omega)$ – модуль коэффициента передачи фильтра.

Масштаб частоты по оси времени на экране составляет $d\omega/dt = \mu$.

Время анализа сигнала с эффективной полосой $\Delta\omega$ записывается так: $T_{\text{МИН}} = \Delta\omega / d\omega/dt = \Delta\omega/\mu$. Для неискаженной передачи формы спектра необходимо выполнение условия $(\tau^2 \text{ И } \mu)/2 \ll 1$. В противном случае возникают искажения обусловленные нелинейностью ФЧХ.

Для импульсов произвольной скважности приведенное выше условие неискаженной передачи может не выполняться. Для уменьшения искажений перед подачей импульсов на вход ДЛЗ осуществляется модуляция несущей частоты по линейному закону со скоростью $\nu = -\mu$, которая компенсирует фазовые искажения при прохождении импульса в ДЛЗ. Поэтому возможна работа с импульсными сигналами, скважность которых близка к единице. Однако паузы принципиально необходимы, так как во время паузы наблюдается отклик от предыдущего импульса.

Описание приборов, используемых в работе

Лабораторная установка (рис. 3.3) включает:

- импульсный генератор Г, производящий последовательность импульсов прямоугольной формы;
- блок формирования БФ, производящий последовательность импульсов треугольной формы (в режиме работы 2);
- осциллограф ОСЦ;
- анализатор спектра АС.

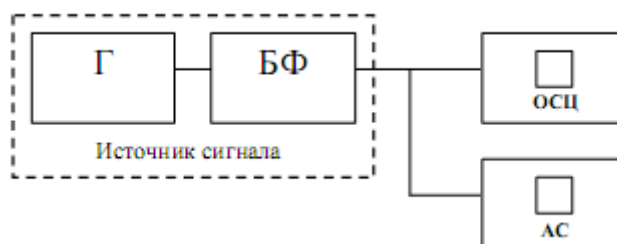


Рис. 3.3 . Схема лабораторной установки для исследования спектров сигналов

Импульсный генератор в совокупности с блоком формирования образуют источник периодического сигнала, характеристики которого в дальнейшем исследуются.

Осциллограф необходим для наблюдения формы сигнала и для измерения его параметров: длительности, периода повторения, амплитуды.

На экране анализатора спектра изображается график, характеризующий амплитудный спектр сигнала.

В процессе выполнения работы:

- фиксируют форму спектра сигнала;
- определяют частоты, соответствующие характерным точкам спектра, отдельным спектральным составляющим, а также относительные интенсивности отдельных компонент спектра.

Упражнение 1. Проведение экспериментов

1. Установить параметры импульсного сигнала, заданные преподавателем, с помощью органов управления генератора.
2. Включить БФ в режим 1. Наблюдать на экране осциллографа исследуемый сигнал. Выбрать режим синхронизации такой, чтобы изображение импульсов на экране было неподвижным. Зафиксировать вид синхронизации в отчете о выполнении лабораторной работы.
3. Установить длительность развертки осциллографа такую, чтобы наблюдать на экране один импульс. Зарисовать форму импульса.
4. Измерить величины, характеризующие длительность и амплитуду импульса. Для этого зафиксировать число делений и, соответствующих длительности и амплитуде сигнала. Определить цены делений по горизонтали (по оси времени) и по вертикали (по оси амплитуд), фиксируя положение органов управления осциллографом.
5. Измерить величины, характеризующие период повторения импульсов. Установить режим развертки такой, чтобы на экране осциллографа уместились два импульса. Определить число делений, соответствующее периоду повторения, и цену деления.
6. Выбрать режим развертки анализатора спектра такой, чтобы на экране анализатора спектра уместились два лепестка спектра. Зарисовать форму спектра.
7. Определить величины, соответствующие основным параметрам спектра: расстоянию между гармониками и ширине лепестка спектра по оси частот. Для этого определить количество делений шкалы между соседними гармониками и от начала шкалы до точки, соответствующей окончанию лепестка. Также определить цену деления по оси частот, фиксируя положение органов управления анализатора спектра.
8. Включить БФ в режим 2. Зарисовать с экрана осциллографа исследуемый сигнал и определить величины, соответствующие его длительности, амплитуде и периоду повторения. При этом пользоваться методикой, изложенной в пп. 4, 5.
9. Зарисовать форму спектра и определить величины, соответствующие его параметрам, пользуясь методикой пп. 6, 7.

Упражнение 2. Проведение расчетов и формулирование выводов

1. Рассчитать длительность и амплитуду импульса (в соответствии с заданием п. 1.4) по формулам:

$$\tau = N_{\tau} \tau'_0; \quad (11)$$

$$E = N_E e_0. \quad (12)$$

2. Рассчитать период повторения (задание п. 1.5) по формуле

$$T = N_{\tau} \tau''_0. \quad (13)$$

3. Рассчитать расстояние между гармониками $\Delta\omega$ и ширину $\omega_{\text{л}}$ лепестка спектра (задание п. 1.7) по формулам:

$$\Delta\omega = N_{\tau} \omega_0; \quad (14)$$

$$\omega_{\text{л}} = N_{\text{л}} \omega_0. \quad (15)$$

4. Рассчитать теоретические значения расстояния между гармониками $\Delta\omega^{\text{теор}}$, рад/с, и ширины лепестка $\omega_{\text{л}}^{\text{теор}}$, используя экспериментальные значения величин T и τ , по формулам:

$$\Delta\omega^{\text{теор}} = 2\pi/T, \quad (16)$$

$$\omega_{\text{л}}^{\text{теор}} = 2\pi/\tau, \quad (17)$$

5. Определить значения частот в герцах (килогерцах). Сравнить полученные теоретические значения расстояния между гармониками и ширины лепестка спектра со значениями, полученными экспериментально (п. 2.3).
6. Повторить расчеты, изложенные в пп. 2.1–2.4, с целью определения параметров сигнала треугольной формы и его спектра.
7. Сравнить полученное теоретическое значение расстояния между гармониками спектра сигнала треугольной формы со значением, полученным экспериментально.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ:

1. Изучите методические указания к лабораторной работе:
2. Выполните упражнения.
3. Оформите отчет по лабораторной работе

Контрольные вопросы:

1. Что называется частотным спектром сигнала?
2. Какова математическая связь формы периодического сигнала и его спектра?
3. Что такое прямое и обратное преобразования Фурье?
4. В каких случаях можно применить ряд Фурье для спектрального анализа?
5. Как связана длительность сигнала и ширина его спектра?
6. Привести характеристики спектра периодических и непериодических сигналов.
7. Привести классификацию методов измерения характеристик спектра
8. сигналов, их области применения и ограничения.
9. Объяснить принцип действия анализаторов параллельного и последовательного типа. Как достигается увеличение их быстродействия?
10. Привести графики и основные характеристики спектральных функций прямоугольного видеоимпульса, радиоимпульса, радиоимпульса с внутриимпульсной ЛЧМ.

Содержание отчета:

1. Описание хода работы:
 - схему и описание лабораторной установки;
 - осциллограммы (рисунки или фотографии) исследуемых сигналов;
 - графики амплитудных спектров сигналов, построенные на основе расчета по методу Фурье;
 - спектрограммы (рисунки или фотографии) исследуемых сигналов, полученные с помощью анализатора спектра;
 - анализ результатов экспериментальных исследований – сравнение спектрограмм, полученных экспериментальным и теоретическим способами.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа №4:

«Исследование проводных сред передачи данных»

Цель работы: исследовать и описать структуру кабеля связи, определить марку кабеля, определить характеристики кабеля связи.

Общие сведения из теории

Кабель связи представляет собой некоторое количество токопроводящих проводников, изолированных друг от друга. Каждая пара проводников образует электрическую цепь, по которой передаётся информация (телефонный разговор, радиовещание, телевидение, фототелеграммы и т.д.) в виде электромагнитной энергии.

В оптических кабелях связи вместо токопроводящих проводников используются стекловолоконные световоды, по которым передаётся информация в виде световой энергии. В некоторых конструкциях оптических кабелей кроме оптических волокон имеются также токопроводящие проводники.

Для предохранения от проникновения влаги проводника или оптические волокна заключены в герметичную оболочку.

Современные кабели магистральной и внутризоновой связи с токопроводящими жилами в зависимости от конструкции, назначения, области применения и условий прокладки различаются по: конструкции рабочей сети; виду связи; диапазону частот; роду изоляции жил; способу скрутки жил; составу конструктивных элементов; степени помехозащищённости; материалу оболочек; защитным покровом и условиям прокладки.

Симметричными называются кабели, у которых обе жилы физической цепи (пары) являются однотипными, т.е. изготовлены из однородного материала, имеют одинаковый диаметр, тип изоляции и т.д.

Коаксиальные кабели



Основным элементом коаксиального кабеля является коаксиальная пара — гибкая металлическая трубка, внутри которой, в центре, находится изолированный

провод. Трубку принято называть внешним проводником, а центральный провод – внутренним.

Магистральные коаксиальные кабели различают в зависимости от диаметров внутреннего d и внешнего D проводников и их соотношения d/D

Наибольшее распространение имеют следующие основные типы коаксиальных пар: малые 1,2\4,6, средние 2,6\9,4 или 2,6\9,5 и большие 5\18 (в числителе указан диаметр внутреннего проводника, в знаменателе – внутренний диаметр внешнего проводника в миллиметрах).

Классификация

1. *По назначению* — для систем кабельного телевидения, для систем связи, авиационной, космической техники, компьютерных сетей, бытовой техники и т. д.
2. *По волновому сопротивлению* (хотя волновое сопротивление кабеля может быть любым), стандартными являются пять значений по российским стандартам и три по международным:
 - 50 Ом — наиболее распространённый тип, применяется в разных областях радиоэлектроники. Причиной выбора данного номинала была, прежде всего, возможность передачи радиосигналов с минимальными потерями в кабеле, а также близкие к предельно достижимым показания электрической прочности и передаваемой мощности (Изюмова, Свиридов, 1975, стр. 51-52);
 - 75 Ом — распространённый тип, применяется преимущественно в телевизионной и радиотехнике (был выбран по причине[источник?] хорошего согласования с волновым сопротивлением наиболее распространенного типа антенн -полуволнового диполя (73 ом); при этом потери в кабеле чуть выше, чем для 50 Ом);
 - 100 Ом — применяется редко, в импульсной технике и для специальных целей;
 - 150 Ом — применяется редко, в импульсной технике и для специальных целей, международными стандартами не предусмотрен;
 - 200 Ом — применяется крайне редко, международными стандартами не предусмотрен;
 - Имеются и иные номиналы; а также, есть коаксиальные кабели с ненормируемым[источник не указан 420 дней] волновым сопротивлением: наибольшее распространение они получили в аналоговой звукотехнике.

3. *По диаметру изоляции*: субминиатюрные — до 1 мм; миниатюрные — 1,5—2,95 мм; среднегабаритные — 3,7—11,5 мм; крупногабаритные — более 11,5 мм.
4. *По гибкости* (стойкость к многократным перегибам и механический момент изгиба кабеля): жёсткие; полужёсткие; гибкие; особогибкие.
5. *По степени экранирования*: со сплошным экраном: с экраном из металлической трубки, с экраном из лужёной оплётки, с обычным экраном, с однослойной оплёткой, с двух- и многослойной оплёткой и с дополнительными экранирующими слоями, излучающие кабели, имеющие намеренно низкую (и контролируруемую) степень экранировки.

Оптические кабели



В отличие от стандартных симметричных и коаксиальных кабелей, где в качестве направляющей системы для передачи электромагнитной энергии используются медные проводники, в оптических кабелях (ОК) направляющей системой служат светодиоды — оптические волокна (ОВ), изготовленные из специального стекла.

Обычно диаметр сердечника ОВ составляет порядка 50 мкм, а диаметр по защитному покрытию — 125 мкм. Количество волокон в кабеле практически неограниченно и определяется его назначением. При этом надо иметь в виду, что пропускная способность оптического кабеля (т.е. объём передаваемой информации) значительно выше, чем у кабелей с медными проводниками, и составляет десятки тысяч телефонных каналов. Масса ОК определяется их конструкцией и колеблется от 50 до 200 кг\км.

Классификация

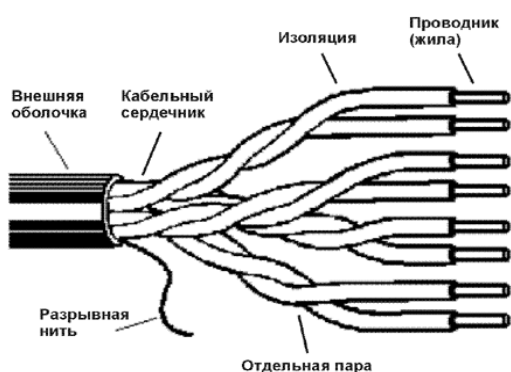
Волоконно-оптический кабель бывает **одномодовым** и **многомодовым**.

Одномодовый кабель имеет меньший диаметр световода (5-10 мкм) и допускает только прямолинейное распространение светового излучения (по центральной моде). В стержне многомодового кабеля свет может распространяться не только прямолинейно (по нескольким модам). Чем больше мод, тем уже пропускная способность кабеля. Так, на 100 м максимальная частота сигнала на длине волны 850 нм для многомодового составляет 1600 МГц, для одномодового — 888 ГГц. Стержень и оболочка многомодового кабеля могут быть изготовлены из стекла или пластика, в то время как у одномодового — только из стекла. Для одномодового кабеля источником света является лазер, для многомодового — светодиод.

Для **многомодового** кабеля характерны следующие помехи: модальная дисперсия и хроматическая дисперсия. Модальная дисперсия заключается в том, что на большом расстоянии начинает сказываться многомодовость кабеля - световой импульс, идущий по самой длинной моде (неаксиальный луч) начинает "отставать" от импульса, идущего по центральной моде (аксиальный луч). В результате этого промежуток между импульсами должен быть больше, чем разница между аксиальным и неаксиальным лучами. Хроматическую дисперсию по другому можно назвать "эффектом радуги" - когда световой сигнал разделяется на световые компоненты, а так как волны света различной длины пропускаются световодом по-разному, то на больших расстояниях хроматическая дисперсия может привести к потере передаваемых данных - световые компоненты одного сигнала будут накладываться на световые компоненты другого.

Многомодовый волоконно-оптический кабель может быть со ступенчатым или плавным отражением сигнала. Кабель с плавным отражением сигнала имеет многослойную оболочку с разными коэффициентами отражения у каждого слоя, и лучшие характеристики по сравнению с кабелем со ступенчатым отражением сигнала.

Витая пара



Витая пара - кабель, состоящий из нескольких пар изолированных проводов, переплетенных между собой особым образом. Свивание проводов делается с целью увеличения помехозащищенности (электромагнитные помехи) кабеля в целом. В кабелях категории 5 и выше пары проводов свиваются с различным шагом для предотвращения помех, связанных с

периодическим сближением различных пар проводников.

Классификация

По типу используемой оплетки витой пары и/или каждой отдельной пары проводников внутри витой пары, кабели делятся на:

- *неэкранированная витая пара* (англ. *UTP — Unshielded twisted pair*) — без защитного экрана;
- *фольгированная витая пара* (англ. *FTP — Foiled twisted pair*), также известна как *F/UTP*) — присутствует один общий внешний экран в виде фольги;
- *экранированная витая пара* (англ. *STP — Shielded twisted pair*) — присутствует защита в виде экрана для каждой пары и общий внешний экран в виде сетки;

- *фольгированная экранированная витая пара (англ. S/FTP — Screened Foiled twisted pair)* — внешний экран из медной оплетки и каждая пара в фольгированной оплетке;
- *незащищенная экранированная витая пара (SF/UTP — или с англ. Screened Foiled Unshielded twisted pair)*. Отличие от других типов витых пар заключается в наличии двойного внешнего экрана, сделанного из медной оплётки, а также фольги.

Экранирование обеспечивает лучшую защиту от электромагнитных наводок как внешних, так и внутренних и т. Д

Существует несколько категорий витопарных кабелей (обозначается "категория", "кат.", "Category", "Cat.", "CAT."). Категории нумеруются от кат.1 до кат.7 - чем выше категория, тем выше эффективный пропускаемый частотный диапазон, а также, обычно, больше пар проводов в кабеле и/или больше витков на единицу длины.

Категория кабеля	Полоса пропускания кабеля	Описание
cat.1	100 Гц	Телефонный кабель. Одна пара. Используется для передачи данных или голоса посредством модема.
cat.2	1 МГц	Иногда встречается в телефонных сетях. две пары проводников, передача данных на скорости до 4 Мбит/с
cat.3	16 МГц	Используется в телефонных сетях, а также при построении сетей 10BASE-T или token ring. Передача данных на скорости до 10 Мбит/с (или до 100 Мбит/с по технологии 100BASE-T4) максимум на 100 метров. Первая категория отвечающая требованиям стандарта IEEE 802.3
cat.4	20 МГц	Отличается от кабеля cat.3 увеличенной пропускной способностью (до 16 Мбит/с по каждой паре)
cat.5	100 МГц	4 пары. Кабель использовался при построении сетей 100BASE-TX, а также для прокладки телефонных линий. Передача данных до 100 Мбит/с при использовании двух пар.
cat.5e	125 МГц	4 пары. Доработанная категория 5. Передача данных до 1000 Мбит/с при использовании всех 4 пар. Самый распространенный кабель для создания современных СКС. Иногда встречается 2-х парный кабель категории 5е, способный

		передавать данные на скорости до 100 Мбит/с - этот кабель тоньше и, разумеется, дешевле аналогичного 4-х парного.
cat.6	250 МГц	4 пары. используется в сетях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet. Передача данных на скорости до 1000 Мбит/с или до 10 Гбит/с на расстоянии не более 50 метров.
cat.6a (cat.6e)	500 МГц	Добавлен в стандарт в 2008 году. 4 пары. Передача данных на скорости до 10 Гбит/с.
cat.7	600-700 МГц	Спецификация утверждена по ISO 11801. 4 пары. Передача данных на скорости до 10 Гбит/с. Экранирование каждой пары и общий экран включены в стандарт, поэтому можно сказать что кабель категории 7, это практически то же самое, что S/FTP кабель категории 6а.

Маркировка кабелей

В зависимости от назначения, вида скрутки жил, защитного покрова и других конструктивных данных междугородные кабели имеют соответствующую маркировку.

Под **маркировкой** понимается система условных обозначений, отражающих при помощи букв и цифр основные классификационные признаки и конструктивные особенности кабеля.

Низкочастотные однородные кабели маркируются буквами **ТЗ**, что означает "телефонный, звёздной скрутки", низкочастотные комбинированные кабели – буквами **ТДС** – "телефонный, дальней связи".

В магистральных симметричных кабелях буквы **МК** означают "магистральный кабель". Магистральные симметричные кабели с полистирольной (стирофлексной) изоляцией жил маркируются буквой **С (МКС)**. В магистральных коаксиальных кабелях буквы **М** и **К** иногда меняются местами, причём буква **К** означает "коаксиальный", а **М** – "магистральный" (кабели марок КМ-4, КМ-8\6).

Буква **А** означает наличие в кабеле алюминиевой оболочки (кабели марок КМА, МКТА, МКСА, ТЗА и др.). Буквами **Ст** маркируются кабели в стальных гофрированных оболочках. Экранированные кабели маркируются буквой **Э (КМЭ, ТЗЭ)**. Зоновые кабели с полиэтиленовой, поливинилхлоридной или алюминиевой оболочкой маркируются буквой **Э (ЭКП, ЭКВ, ЭКА)**.

Последние буквы в марках кабелей обычно характеризуют конструкцию бронепокровов: **Г** – голый, т.е. без бронепокровов; **Б** – бронированный двумя стальными лентами с наружным защитным покровом; **К** – бронированный

стальными круглыми оцинкованными проволоками с наружным защитным покровом: **П** – бронированный стальными плоскими проволоками с наружным защитным покровом; **БГ** – бронированный голый, т.е. без наружного защитного покрова. При наличии противокоррозионных изолирующих покровов в подброневой подушке к обозначению прибавляются буквы: **л** – слой поливинилхлоридных или других пластмассовых лент; **2л** – два слоя лент, между которыми наложены битумный состав и крепированная или пропитанная кабельная бумага; **п** – полиэтиленовый шланг; **в** – поливинилхлоридный шланг. При наличии таких наружных покровов буквы **Шп** обозначают полиэтиленовый шланг или **Шв** – поливинилхлоридный шланг. Буква **б** обозначает, что в кабеле нет подушки, а буква **н** – что покровы состоят из негорючих составов.

К буквам, определяющим марку кабеля, прибавляются цифры, указывающие число каналов системы передачи (для симметричных высокочастотных кабелей), количество элементов, число жил в элементах, диаметр жил, наличие экранированных элементов, например, МКСБ – 60 7х4х1,2 или ТЗГ – 37х4х0,9 или ТДСБ – 3х2 экр.х1,4+15х4х0,8.

Описание приборов, используемых в работе

Мегомметры ЭС0202\1-Г, ЭС0202\2-Г предназначены для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением.

Условное обозначение	Диапазон измерений, МОм	Измерительное напряжение на зажимах, В
ЭС0202\1-Г	0 – 1 000	100 ± 10
		250 ± 25
		500 ± 50
ЭС0202\2-Г	0 – 10 000	500 ± 50
		1 000 ± 100
		2 500 ± 250

Время установления показаний не превышает 15 сек.

Режим работы мегомметра прерывистый: измерение – 1 мин, пауза – 2 мин.

Скорость вращения ручки электромеханического генератора (120 - 144) об\мин.

ВНИМАНИЕ! При измерении сопротивления изоляции объекта подключиться к гнездам Θ и Rx.

Установить переключатель измерительных напряжений в нужное положение, а переключатель диапазонов в положение I или II.

Для проведения измерений вращать ручку генератора со скоростью (120 - 144) об\мин.

После установления стрелочного указателя произвести отсчёт значения измеряемого сопротивления. Если стрелочный указатель находится левее отметки "5" для ЭС0202\1-Г или "50" для ЭС0202\2-Г переключите переключатель диапазонов на другой диапазон.

Упражнение. Исследование проводных линий связи

1. Определить структуру поперечного сечения предложенного кабеля связи. Разделать полученные кабели с двух сторон от изоляции на 5 – 7 см. Зарисовать (сфотографировать) торец кабелей всех полученных образцов.
2. Определить тип и маркировку кабеля (тип изоляции). Сосчитать количество пар кабелей всех полученных образцов. Пользуясь микрометром, определить диаметр жил или оптоволокну. Записать тип и маркировку всех образцов согласно справочнику.
3. Определить область применения кабеля. Записать область применения всех образцов кабелей согласно справочнику.
4. Определить электрические характеристики кабеля. Записать электрические характеристики кабелей всех полученных образцов согласно справочнику.
5. Определить механические и другие характеристики кабеля. (Диаметр жил, строительная длина, величину изоляции общей и 3-х пар жил, по справочнику – сопротивление Ом\км). Используя мегомметр, измерить изоляцию 3-х пар жил и относительно общей изоляции - 3-х пар жил. По справочнику определить и записать строительные длины всех образцов кабелей, сопротивление Ом\км.
6. Определение частотного диапазона волновода. Используя штангельциркуль, определить широкую и узкую стенку волновода в сантиметрах, определить частотных диапазон всех предложенных образцов.
7. Порядок определения телефонных пар в кабеле и правильность их включения. Используя мультиметр, произвести определение телефонных пар в кабеле в образце, указанном преподавателем.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ:

1. Изучите методические указания к лабораторной работе:
2. Выполните упражнения.
3. Оформите отчет по лабораторной работе

Контрольные вопросы:

1. Виды кабелей связи и их классификация.
2. Конструкции коаксиальных кабелей связи и системы их использования.
3. Конструкции симметричных кабелей связи и системы их использования.
4. Конструкции оптических кабелей связи и системы их использования.

Содержание отчета:

1. Описать ход работы
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа №5:

«Работа с коннекторами коаксиальных кабелей и витых пар»

Цель работы: получить навыки работы с «тонким» коаксиальным кабелем и кабелем «витая пара» категории 5 (или более высокой); устанавливать на концах кабелей (заделывать) коннекторы BNC и RJ-45; проверять качество заделки коннекторов; использовать прямые и перекрестные кабели на основе «витой пары» для связи компьютеров, концентраторов и коммутаторов.

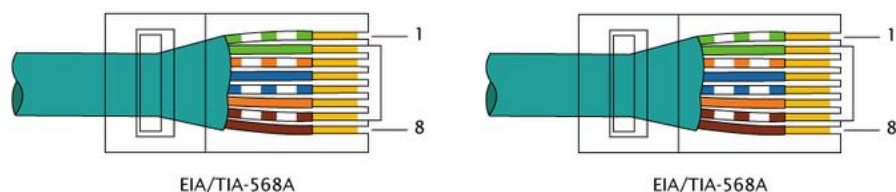
Общие сведения из теории

Существует два варианта обжима разъёма на кабеле типа витая пара:

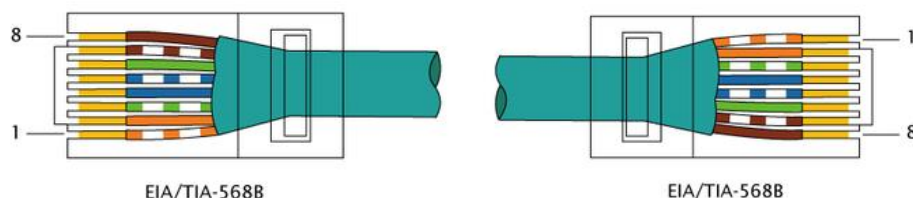
- для создания **прямого кабеля** — для соединения порта сетевой карты с коммутатором или концентратором
- для создания **перекрёстного** (использующего кроссированный MDI, англ. MDI-X) **кабеля**, имеющего инвертированную разводку контактов разъёма для соединения напрямую двух сетевых плат, установленных в компьютеры, а также для соединения некоторых старых моделей концентраторов или коммутаторов (uplink-порт).

Прямой кабель

Вариант по стандарту TIA/EIA-568A



Вариант по стандарту TIA/EIA-568B (используется чаще)



В случае, если нужен кабель MDI с внешним кроссированием, так называемый «прямой» кабель для подключения компьютер на хаб/свитч используются следующие схемы:

- При соединении EIA/TIA-568B, AT&T 258A 1: Бело-оранжевый 2: Оранжевый 3: Бело-зелёный 4: Синий 5: Бело-синий 6: Зелёный 7: Бело-коричневый 8: Коричневый

Старые цвета витой пары: 1: синий 2: оранжевый 3: чёрный 4: красный 5: зелёный 6: жёлтый 7: коричневый 8: серый

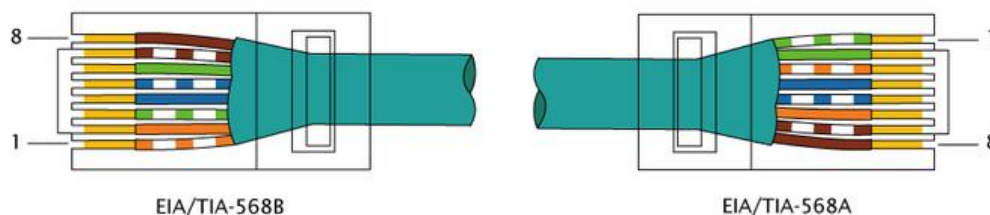
- При соединении EIA/TIA-568A 1: Бело-зелёный 2: Зелёный 3: Бело-оранжевый 4: Синий 5: Бело-синий 6: Оранжевый 7: Бело-коричневый 8: Коричневый

По одной из этих схем обжимаются разъёмы с обеих сторон.

Перекрёстный кабель

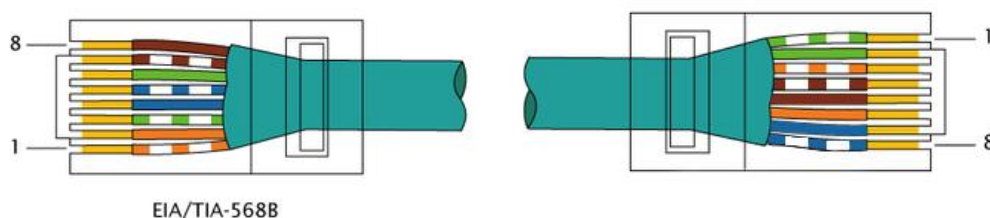
Предназначен для соединения однотипного оборудования (например, компьютер-компьютер). Однако большинство современных сетевых устройств способно автоматически определить метод обжима кабеля и подстроиться под него (Auto MDI/MDI-X), и перекрёстный кабель сегодня потерял свою актуальность.

Вариант для скорости 100 Мбит/с



Если нужен кабель MDI-X с внутренним кроссированием («crossover» кабель) для соединения, например, «компьютер-компьютер» (со скоростью до 100 Мбит/с), то с одной стороны кабеля применяется схема EIA/TIA-568B, с другой EIA/TIA-568A.

Вариант для скорости 1000 Мбит/с



Для соединений на скоростях до 1000 Мбит/с при изготовлении "crossover" кабеля одну сторону надо обжать по стандарту EIA/TIA-568B, а вторую так: 1:

Бело-зелёный 2: Зелёный 3: Бело-оранжевый 4: Бело-коричневый 5: Коричневый 6: Оранжевый 7: Синий 8: Бело-синий.

Использование кабеля, обжатого не по стандарту, может привести (в зависимости от длины кабеля) к тому, что кабель не будет работать совсем или будет очень большой процент потерь передаваемых пакетов.

Для проверки правильности обжатия кабеля, помимо визуального контроля, используют специальные устройства — **кабельные тестеры**. Такое устройство состоит из передатчика и приёмника. Передатчик поочерёдно подаёт сигнал на каждую из восьми жил кабеля, дублируя эту передачу зажиганием одного из восьми светодиодов, а на приёмнике, подсоединённом к другому концу линии, соответственно загорается один из восьми светодиодов. Если на передаче и на приёме светодиоды загораются подряд, значит, кабель обжат без ошибки. Более дорогие модели кабельных тестеров могут иметь встроенное переговорное устройство, индикатор обрыва с указанием расстояния до обрыва и пр.

Упражнение 1. Работа с «тонким» коаксиальным кабелем и кабелем «витая пара»

Изучение и монтаж тонкого коаксиального кабеля

1. Возьмите отрезок коаксиального кабеля и исследуйте его строение.
2. Аккуратно удалите часть внешней оболочки и обрежьте экранирующую оплетку. Затем надрежьте, чуть надломите и снимите внутреннюю изоляцию, не повредив центральную жилу
3. Возьмите отрезок коаксиального кабеля длиной 2–3 метра. Отрежьте на конце кабеля небольшой кусок в 2–3 см, чтобы удалить поврежденную или окислившуюся часть кабеля.
4. Наденьте на кабель трубочку, используемую для обжима экранирующей оплетки, и сдвиньте ее немного вниз, чтобы она не мешала дальнейшей работе.
5. Возьмите устройство для зачистки кабеля RG-58, заложите конец кабеля в подпружиненную часть (рис. 5.1) и проверните инструмент один-два раза вокруг кабеля, следя за тем, чтобы устройство все время оставалось перпендикулярным кабелю.



Рис. 5.1 Коаксиальный кабель RG-58 в устройстве для его зачистки

Внимание! В устройстве для зачистки кабеля используются острые ножи. Поэтому не пытайтесь использовать это устройство для зачистки чего-либо другого, кроме «тонкого» коаксиального кабеля, и ни в коем случае не пытайтесь зажимать в этом устройстве, например, палец: такие действия могут привести к серьезной травме. В результате кабель должен оказаться надрезанным в нескольких местах на разную глубину: первый нож должен надрезать только внешнюю оболочку; второй — должен надрезать внешнюю оболочку и экранирующую оплетку; третий — внешнюю оболочку, экранирующую оплетку и внутреннюю изоляцию.

Примечание. Лучше, если ножи чуть не дорезают указанные оболочки кабеля, чем перерезают их глубже необходимого.

6. Аккуратно удалите надрезанные части — после этого конец кабеля должен выглядеть, как показано на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Коаксиальный кабель RG-58 после зачистки

7. Возьмите центральный контакт и наденьте на внутреннюю жилу кабеля, причем эта жила должна полностью уместиться в отверстии контакта, а сам контакт должен прилегать краем к внутренней изоляции.
8. Поместите центральный контакт со вставленной жилой в маленький штамп обжимного устройства и сожмите ручки клещей до упора. После этого конец кабеля должен выглядеть, как показано на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Коаксиальный кабель RG-58 после установки и обжима центрального контакта

Внимание! В обжимном устройстве используется блокировочный механизм, препятствующий разжиманию инструмента до полного обжима. Поэтому не пытайтесь сжимать что-либо, кроме частей коннектора BNC, и ни в коем случае не пытайтесь зажать в нем, например, палец: такие действия могут привести к серьезной травме.

9. Расправьте экранирующую оплетку — это легко сделать с помощью иглы или распрямленной канцелярской скрепки.
10. Возьмите основную часть коннектора (корпус) и аккуратно, но с усилием вставьте центральный контакт в отверстие внутри корпуса до слабо слышного щелчка (проследите, чтобы экранирующая оплетка при этом оказалась снаружи).
11. Равномерно обмотайте экранирующую оплетку вокруг хвостовой части корпуса коннектора, как показано на рис. 5.4, и наденьте трубочку на обмотанный оплеткой хвостовик.



Рис. 5.4. Коаксиальный кабель с установленной основной частью коннектора и не полностью надетой обжимной трубочкой

12. Наконец, следует поместить хвостовую часть коннектора в обжимное устройство (рис. 5.5) и одним движением обжать ее.



Рис. 5.5. Коннектор BNC в обжимном инструменте

Изучение и монтаж тонкого витой пары

1. Возьмите отрезок кабеля «витая пара» и исследуйте его строение
2. Аккуратно удалите часть внешней оболочки, расплетите одну из пар и снимите с нее изоляцию, не повредив проводники.
3. Отрежьте на конце кабеля небольшой кусок в 2–3 см, чтобы удалить поврежденную или окислившуюся часть кабеля.
4. Возьмите устройство для обжима коннекторов RJ-45 и найдите в нем ножи для обрезания внешней оплетки.
5. Заложите конец кабеля между ножами, как показано на рис. 5.6, слегка сожмите ручки и вращающим движением надрежьте внешнюю оплетку кабеля (аккуратно, чтобы не разрезать проводники).



Рис. 5.6. Обрезка внешней изоляции на кабеле «витая пара»

Внимание! В устройстве для обрезки кабеля используются острые ножи. Поэтому не пытайтесь использовать это устройство для зачистки чего-либо другого, кроме кабеля «витая пара» или телефонного кабеля, и ни в коем случае не

пытаться зажимать в устройстве, например, палец: такие действия могут привести к серьезной травме.

6. Удалите надрезанный кусок внешней оплетки кабеля, расплетите и выпрямите все проводники. После этого конец кабеля должен выглядеть, как показано на рис. 5.7.



Рис. 5.7. Кабель «витая пара» с расплетенными и выпрямленными проводниками

7. Расположите проводники в соответствии с выбранным вами стандартом заделки (наиболее распространенным является стандарт 568В) и, срезав на их концах кусочки по 2–4 миллиметра, аккуратно подровняйте их
8. Вставьте проводники в коннектор, следя за тем, чтобы расположение проводников не нарушилось, затем поместите коннектор в обжимное устройство до фиксации защелкой (рис. 5.8) и обожмите разъем.



Рис. 5.8. Коннектор RJ-45 в обжимном инструменте

9. Возьмите отрезок кабеля, на одном конце которого вы только что смонтировали коннектор RJ-45.
10. Повторите операции 2–6, чтобы установить и обжать коннектор на втором конце кабеля. Проследите, чтобы разводка проводников в точности совпадала с разводкой проводников в коннекторе на другом конце кабеля. Полученный таким образом кабель называется прямым.
11. Возьмите прибор для проверки кабелей.
12. Используя разъемы для коннекторов RJ-45, соедините обе части прибора: основную («MASTER») и удаленную («REMOTE») с помощью только что

изготовленного кабеля (рис. 5.9), после чего нажмите кнопку включения питания на основной («MASTER») части прибора. Обратите внимание на мигающие светодиодные индикаторы.



Рис. 5.9. Проверка качества заделки коннекторов RJ-45 с помощью специального тестера

Если все индикаторы загораются, значит, ваш кабель прошел простейшую проверку.

Примечание. Показанное на рис. 5.9 устройство является достаточно примитивным — оно позволяет обнаруживать только нарушения электрического контакта в коннекторах и кабеле, но не дает информации о качестве самого кабеля и коннекторов. Для получения таких данных используются профессиональные тестеры.

Для изготовления перекрестного кабеля на базе «витой пары» возьмите отрезок кабеля и, используя разводку по стандарту 568B, смонтируйте на его конце коннектор RJ-45. На обратном конце кабеля коннектор следует заделать, поменяв расположение проводников следующим образом: зеленую пару нужно поменять местами с оранжевой, а голубую — с коричневой. Полученный таким образом кабель называется перекрестным.

Упражнение 2. Использование кабелей на базе «витой пары»

Объединение двух компьютеров с помощью перекрестного кабеля

1. Возьмите только что изготовленный прямой кабель.
2. Соедините ваш компьютер с компьютером вашего партнера с помощью прямого кабеля (для этого коннекторы на обоих концах кабеля должны быть вставлены непосредственно в разъемы RJ-45 сетевых адаптеров).
3. Включите оба компьютера.

4. Войдите в систему с учетной записью, входящей в локальную группу «Администраторы» (например, как пользователь User1 с паролем P@ssw0rd).
5. В меню **Пуск** выберите пункт **Мой компьютер**. В поле *Открыть* окна *Запуск программы* введите строку `\\Compx`, где Compx — имя компьютера вашего партнера (например, Compx2). Щелкните мышью на кнопке **ОК**.
6. Отрицательный ответ на приведенный выше вопрос означает, что использовать прямой кабель для непосредственной связи компьютеров друг с другом нельзя. Замените кабель на перекрестный и повторите описанные выше действия.
7. Открывшееся окно с общими ресурсами компьютера вашего партнера означает, что сетевое взаимодействие между компьютерами установлено. Закройте все окна.

Подключение компьютера к концентратору (коммутатору)

1. Отключите перекрестный кабель от компьютера вашего партнера и подключите его к концентратору (или коммутатору).
2. Убедитесь, что ваш партнер также подключился к концентратору с помощью перекрестного кабеля. Включите питание концентратора (коммутатора).
3. В меню **Пуск** выберите пункт **Мой компьютер**. В поле *Открыть* окна *Запуск программы* введите строку `\\Compx`, где Compx — имя компьютера вашего партнера (например, Compx2). Щелкните мышью на кнопке **ОК**.
4. Отрицательный ответ на приведенный выше вопрос означает, что использовать перекрестный кабель для связи компьютеров с такими устройствами, как концентраторы и коммутаторы, нельзя.

Примечание. Многие современные коммутаторы достаточно «интеллектуальны», оснащены функцией автоопределения типа кабеля и способны не только распознавать нестандартный тип кабеля, но и переключать порт в противоположный режим работы. При этом те контакты порта, которые обычно используются для передачи данных, начинают работать на их прием, и наоборот. Если при использовании перекрестного кабеля для подключения компьютера к коммутатору взаимодействие в сети обеспечено, это значит, что ваш коммутатор оснащен такой функцией. Замените кабель на прямой (ваш партнер также должен проделать это) и повторите операцию.

5. Открывшееся окно с общими ресурсами компьютера вашего партнера означает, что сетевое взаимодействие между компьютерами установлено. Следовательно, для связи компьютеров с концентраторами и коммутаторами нужно использовать прямой кабель «витая пара». Закройте все окна.

Подключение концентраторов или коммутаторов друг к другу (каскадирование)

1. Возьмите второй концентратор (коммутатор).
2. Переключите свой кабель с первого концентратора (коммутатора) на второй, а кабель вашего партнера оставьте подключенным к первому концентратору (коммутатору).
3. Соедините два концентратора (коммутатора) между собой с помощью прямого кабеля (обязательно используйте при этом порты со средними номерами, например, под номером 3).
4. В меню **Пуск** выберите пункт **Мой компьютер**. В поле *Открыть* окна *Запуск программы* введите строку \\Compx, где Compx — имя компьютера вашего партнера (например, Compx2). Щелкните мышью на кнопке ОК.
5. Отрицательный ответ на приведенный выше вопрос означает, что просто использовать прямой кабель для связи концентраторов и коммутаторов между собой нельзя.

Примечание. Если увидеть общие ресурсы все же удалось, это значит, что ваш коммутатор поддерживает функцию определения типа кабеля на каждом из портов.

6. Найдите на одном из концентраторов (коммутаторов) порт с названием Uplink, Crossover или MDI-X и переключите туда коннектор кабеля, соединяющего концентраторы друг с другом (это нужно сделать только на одном устройстве).
7. Повторите операцию обращения к сетевым ресурсам. Открывшееся окно с общими ресурсами компьютера вашего партнера означает, что сетевое взаимодействие между концентраторами установлено. Обратите внимание, что связь между концентраторами или коммутаторами с помощью прямого кабеля работает только тогда, когда на одном из устройств используется так называемый перекрестный (Uplink, Crossover или MDI-X) порт.
8. Закройте все окна.
9. Замените кабель, связывающий концентраторы (коммутаторы), на перекрестный, но не используйте порт Uplink (например, вставьте оба коннектора в порты с номером 3).
10. Повторите операцию обращения. Открывшееся окно с общими ресурсами компьютера вашего партнера означает, что объединение концентраторов и коммутаторов друг с другом без использования перекрестного порта (Uplink) возможно благодаря применению перекрестного кабеля на основе «витой пары».
11. Закройте все окна и завершите работу с компьютером.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ:

1. Изучите методические указания к лабораторной работе
2. Выполните упражнения.
3. Оформите отчет по лабораторной работе

Контрольные вопросы:

1. Какие типы витой пары вы знаете?
2. Для чего скручиваются пары проводов витой пары?
3. Виды обжимки витой пары?
4. Какие устройства можно соединять с помощью перекрестного и прямого кабеля?
5. Каково волновое сопротивление телевизионного коаксиального кабеля?
6. Каково назначение центральной жилы и экрана коаксиального провода?
7. Все ли индикаторы на удаленной («REMOTE») части тестера загораются с соответствии с индикаторами на основной его части?

Содержание отчета:

1. Описать ход работы
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа №6:

«Исследование затухания в линиях передач»

Цель работы: практические измерения наведенных сигналов и теоретический расчет коэффициентов затухания.

Одним из важных средств добывания информации является техническая разведка, проводимая с помощью разнообразных специальных технических устройств. Данные устройства предназначены для съема информативного сигнала с различных источников передачи, обработки и хранения информации.

При обработке и передачи данных обрабатываемая информация распространяется по воздушной среде, проводным линиям и коммуникациям (сюда включаются батареи, водопровод и т.д.). Но распространение информационных сигналов в различных средах всегда происходит с затуханием, которое определяет величину опасных зон, в радиусе которых возможно снять информативный сигнал.

На практике для определения перечисленных зон производят практические измерения наведенных сигналов и теоретический расчет коэффициентов затухания. Теоретические расчеты не всегда совпадают с реальными, поэтому расчет коэффициентов затухания имеет смысл проводить для каждого конкретного объекта.

Затухание показывает, насколько уменьшается мощность эталонного синусоидального сигнала на выходе линии связи по отношению к мощности сигнала на входе этой линии. Оно определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по каналу передачи сигнала определенной частоты. При отсутствии промежуточных усилителей мощность выходного сигнала кабеля всегда меньше мощности входного, поэтому затухание кабеля, как правило, имеет отрицательную величину.

Затухание представляет собой обобщенную характеристику линии связи, так как позволяет судить не о точной форме сигнала, а о его мощности (интегральной результирующей от формы сигнала). На практике затухание является важным атрибутом описания линий связи: в частности, в стандартах на кабель этот параметр считается одним из основных.

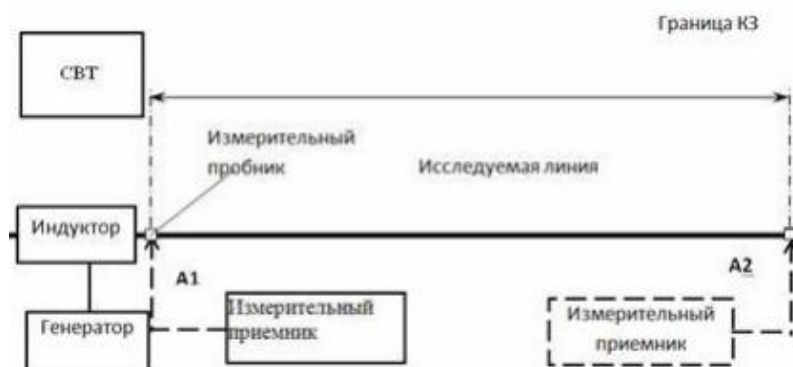
Чем меньше затухание, тем выше качество линии связи или кабеля, по которому она проложена. Обычно затухание определяют для пассивных участков

линии связи, состоящих из кабелей и кроссовых секций, без усилителей и регенераторов. Например, кабель с витыми парами Категории 5 для внутренней проводки в зданиях, применяемой практически для всех технологий локальных сетей, характеризуется затуханием не ниже -23,6 дБ для частоты 100 МГц при длине кабеля 100 м.

Частота 100 МГц выбрана потому, что кабель этой категории предназначен для высокоскоростной передачи данных, чьи сигналы имеют значимые гармоники с частотой примерно 100 МГц. Более качественный кабель Категории 6 уже имеет на частоте 100 МГц затухание не ниже -20,6 дБ, т. е. мощность сигнала снижается в меньшей степени. Часто в документации приводятся абсолютные значения затухания, т. е. его знак опускается, так как затухание всегда отрицательно для пассивного, не содержащего усилители и регенераторы, участка линии, например непрерывного кабеля.

Оптический кабель отличается существенно более низкими (по абсолютной величине) размерами затухания, обычно в диапазоне от 0,2 до 3 дБ при длине кабеля в 1000 м.

Измерение реального затухания в исследуемой линии проводилось отдельно для каждой частоты сигнала, по схеме, приведенной ниже.



На каждой j -й частоте в исследуемую линию вблизи СВТ подавался сигнал от вспомогательного источника и измерялось напряжение этого сигнала пробником напряжения в двух точках: вблизи СВТ в точке А1 (напряжение U_{1uj}) и на границе контролируемой зоны А2 (напряжение U_{2uj}).

При помощи измерительного приемника были получены данные для расчета реального коэффициента затухания.

Коэффициент затухания вычислялся по формуле:

$$K_{\pi j} = 10 \cdot \lg \frac{U_{2\pi j}}{U_{1\pi j}} [\text{дБ}]$$

В ходе работы в исследуемую линию длиной $l_{AB}=9$ м, нагрузкой $R_n=56$ Ом подавался информативный сигнал с частотой f (45 и 90 МГц) и амплитудой напряжения 500 мВ, и были получены коэффициенты затухания на данных частотах.

Полученные измерения и расчеты						
Выход		Точка А	Точка В	$l_{AB}, \text{ м}$	$R_n, \text{ Ом}$	$K_{\pi}, \text{ дБ/м}$
$f, \text{ МГц}$	$U, \text{ мВ}$	$U_{\text{тс}}, \text{ мВ}$	$U_{\text{тс}}, \text{ мВ}$			
		500	450			
		400	300			

Полученные коэффициенты затухания оказывают влияния на соотношение сигнал/шум на границе контролируемой зоны, где возможно снятие информативного сигнала средствами технической разведки.

При измерениях реальных коэффициентов затухания получаются более точные и объективные результаты по сравнению с теоретическими расчетами, так как данные соответствуют каждому конкретному объекту.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ:

1. Изучите методические указания к лабораторной работе
2. Заполнить таблицу по исходным экспериментальным данным, рассчитать коэффициент затухания и занести в таблицу.
3. Оформите отчет по лабораторной работе

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение затухания
2. В чем состоит методика измерения затуханий?
3. Для каких участков и почему измеряют затухание?

Содержание отчета:

4. Описать ход работы
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Выводы по работе.

Литература

1. А.Дж.Джерри. Теорема отсчётов Шеннона, ее различные обобщения и приложения. Обзор. ТИИЭР, 1977, Т.65, №11, с 53
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1985.
3. Борисенко А.В. Теория электрической связи: Методические рекомендации к лабораторным работам. Часть 1 / СПбГУТ; СПбГУИТМО. - СПб, 2004.
4. Быстров Ю.А., Мироненко И.Г. Электронные цепи и устройства: Уч. пособие для ВУЗов. – М.:Высш.шк., 1989.- 287с.
5. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. пособие для вузов / И.С. Гоноровский, М.П. Демин. – М. : Радио и связь, 1994. – 480 с.
6. Зайцев А.П., Шелупанов А.А. Технические средства и методы защиты информации. Учебное пособие - Томск, Изд-во «В-Спектр», 2008 г. - 228 с.
7. Зайцев А.П., Шелупанов А.А. Справочник по техническим средствам защиты информации и контроля технических каналов утечки информации -Томск: Изд. Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2004г. - 197 с.
8. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М.В. Теория электрической связи. М.: Радио и связь, 1999. 432 с.
9. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. М.: Радио и связь, 1980, 288 с.
10. Измерения в электронике: Справочник/ В.А.Кузнецов, В.А.Долгов, В.М.Коневских и др.; Под ред. В.А.Кузнецова. М.:Энергоиздат,1987.- 512с.
11. Котельников В. А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи. - В. кн.: Материалы по радиосвязи к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции связи. Всесоюзный энергетический комитет. 1933
12. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах, Пер. с франц. - М.: Мир, 1983 - Т.1. 312 с.
13. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах: Пер. с англ. –М.:Радио и связь, 1990. - 416с.
14. Радиотехнические системы передачи информации. Под ред. В.В. Калмыкова. - М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
15. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. тр-та / Г.В. Горелов [и др.]. – М. : Транспорт, 1999. – 415 с.
16. Шеннон К. Связь при наличии шума. - В кн.: Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963, с. 433—460.
17. Генератор импульсный Г5-19. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
18. Осциллограф С1-64. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

- 19.** Анализатор спектра «Вектор». Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
- 20.** www.tektronix.com

Оглавление

Лабораторная работа №1	3
Лабораторная работа №2	45
Лабораторная работа №3	71
Лабораторная работа №4	85
Лабораторная работа №5	94
Лабораторная работа №6	105
Литература	108