

4.2. Цифровые осциллографы

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Измерение временных и амплитудных параметров сигнала (рисунок 1, 2).

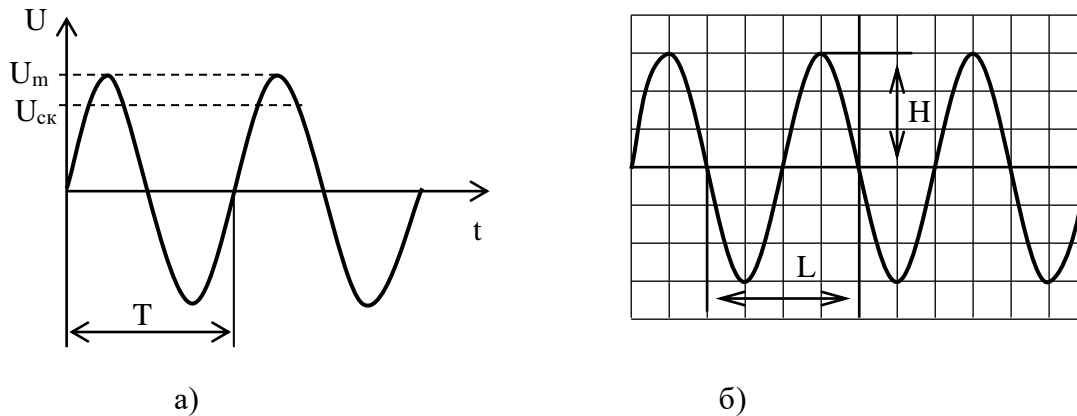


Рисунок 1 – Синусоидальный сигнал: параметры сигнала (а), осциллограмма (б),
где U_m – амплитудное значение ($U_m = H \cdot n_y$), В;
 U_d – среднеквадратическое значение;
 T – период сигнала ($T = L \cdot n_x$), с;
 n_x – чувствительность по горизонтали, с/дел (мс/дел);
 n_y – чувствительность по вертикали, В/дел;
 H – высота сигнала, (дел);
 L – период сигнала, (дел).

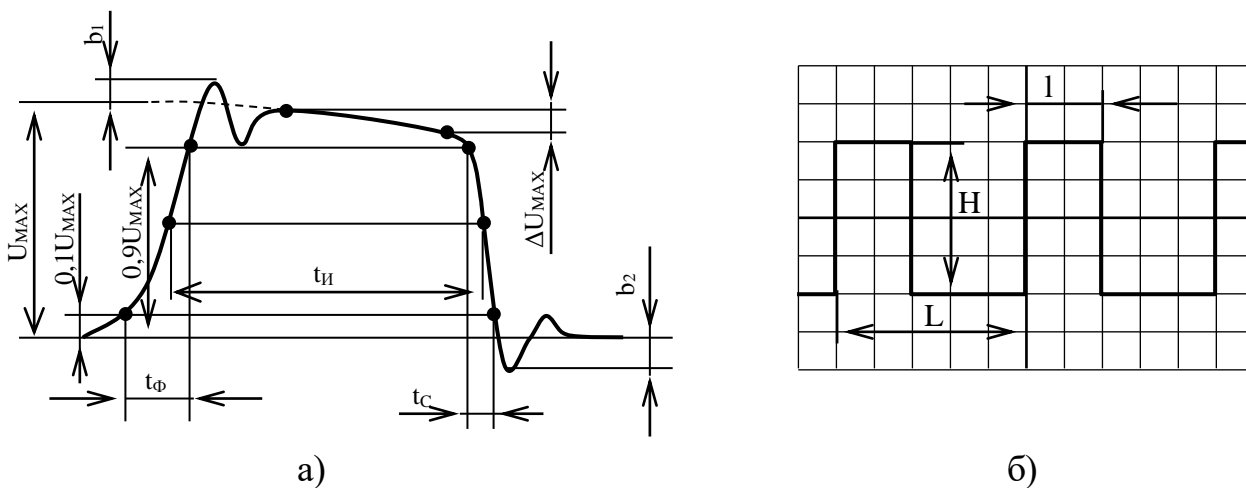


Рисунок 2 - Сигнал прямоугольной формы: параметры сигнала (а), осциллограмма (б),
где t_{ϕ} – длительность фронта, или время нарастания импульса;
 t_c – длительность среза или время спада импульса;
 b_1, b_2 – выброс на вершине и на срезе;
 ΔU_{MAX} – неравномерность вершины;
 T – период сигнала ($T = L \cdot n_x$), с;
 $t_{и}$ – длительность импульса;
 U_{MAX} – амплитуда импульса ($U_{MAX} = H \cdot n_y$); В;
 n_x – чувствительность по горизонтали (с/дел, мс/дел);
 n_y – чувствительность по вертикали (В/дел).

2. Измерение частоты.

2.1. Метод линейной развертки.

Сигнал измеряемой частоты подается на вход “Y” осциллографа, измеряется интервал времени, в который попадает целое число периодов сигнала, после чего частота находится по формуле 1:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{N}{t_x} \quad (1)$$

где t_x – интервал времени;
 N – число периодов.

2.2. Метод синусоидальной развертки (фигур Лиссажу).

К отклоняющим пластинам Y подводят напряжение измеряемой частоты f_y , а к отклоняющим пластинам X — напряжение образцового генератора с частотой $f_0 = f_x$ (рисунок 3).

Частоту образцового генератора изменяют до тех пор, пока на экране осциллографа не получится фигура Лиссажу, которая должна быть наиболее простой и неподвижной. При этом следует иметь в виду, что с увеличением частоты генераторов и уменьшением их стабильности получить неподвижную фигуру Лиссажу становится труднее. Определив по кривой отношение частот: $n = f_y / f_x = f_y / f_0$, находим $f_y = n f_x$.

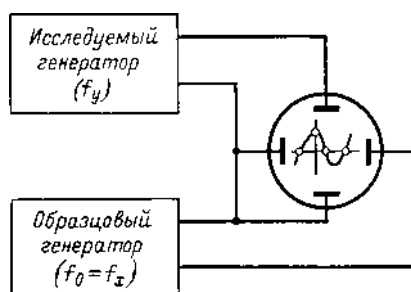


Рисунок 3- Блок-схема измерения частоты осциллографом методом фигур Лиссажу

Практически величину n удобно находить как отношение числа точек пересечения фигуры Лиссажу горизонтальной линией к числу точек пересечения фигуры вертикальной линией. Данный метод удобно использовать при измерении частоты, если величина n не превышает 10. При большом отношении частот фигура получается неразборчивой вследствие меньшей скорости движения пятна в начале и конце синусоидальной развертки по сравнению со скоростью в ее средней части и определить n невозможно. В этом случае для измерения частоты удобно использовать метод круговой или эллиптической развертки.

Пример. Если фигура Лиссажу, изображенная на рисунке 4, получилась при частоте образцового генератора $f_0 = 1000$ Гц, то отношение числа точек пересечения фигуры горизонтальной и вертикальной прямыми соответствует:

$$n = f_y / f_0 = 6 / 2 = 3, \quad \text{откуда } f_y = n f_0 = 3 \cdot 1000 = 3000 \text{ Гц.}$$

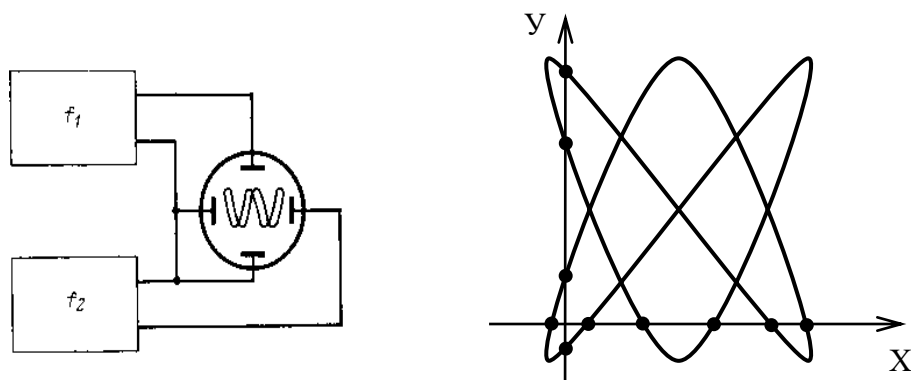


Рисунок 4 - К примеру определения величины n

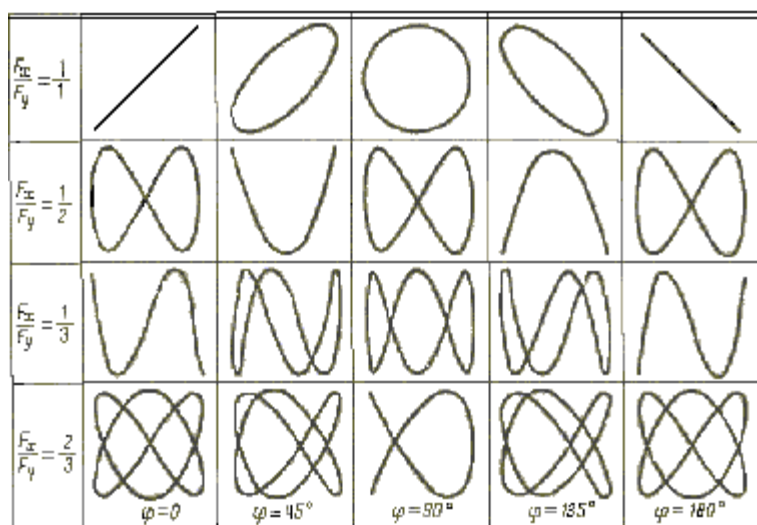


Рисунок 5 - Фигуры Лиссажу для разного соотношения частот и различных фазовых сдвигов

Соотношение частот и различных фазовых сдвигов представлено на рисунке 5, полученик фигур Лиссажу на рисунке 6.

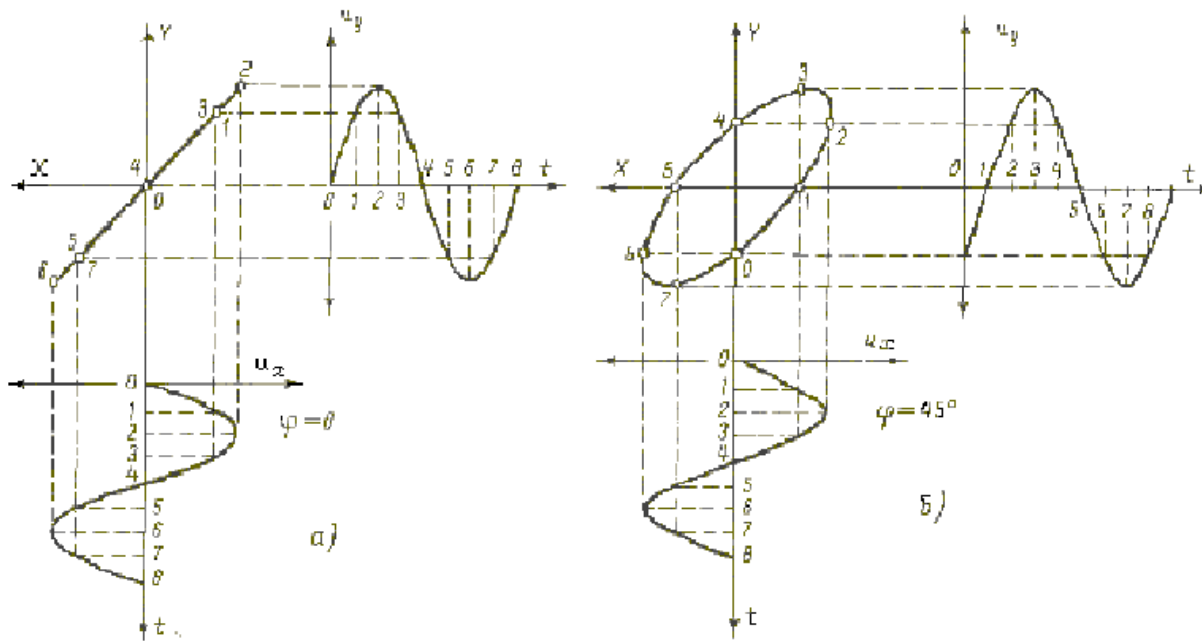
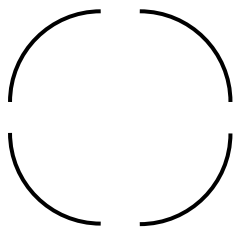


Рисунок 6 - Получение фигур Лиссажу при отношении 1 : 1 и сдвиге фаз $\varphi = 0^\circ$ (а) и $\varphi = 45^\circ$ (б).

2.3. Метод круговой развертки (яркостных меток времени).

На входы “Y” и “X” осциллографа подаются сигналы образцовой частоты сдвинутые по фазе друг от друга на 90° . На вход “Z” подается сигнал измеряемой частоты. В результате, на экране осциллографа появляется прерывистая окружность. По количеству разрывов которой находится отношение частот (рисунок 7):



$$F_x = n \cdot F_0$$

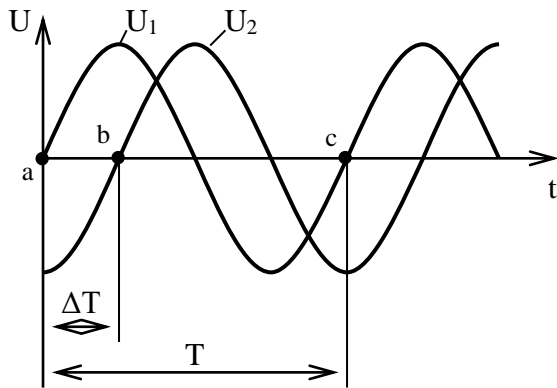
Рисунок 7 - Изображение на экране осциллографа при измерении частоты методом круговой развертки,

где F_x – измеряемая частота;
 n – количество разрывов окружности;
 F_0 – образцовая частота.

3. Измерение фазового сдвига

3.1. Метод линейной развертки.

Сигналы, сдвиг по фазе между которыми измеряется с помощью двухлучевого осциллографа, подаются на I и II входы канала вертикального отклонения (рисунок 8).

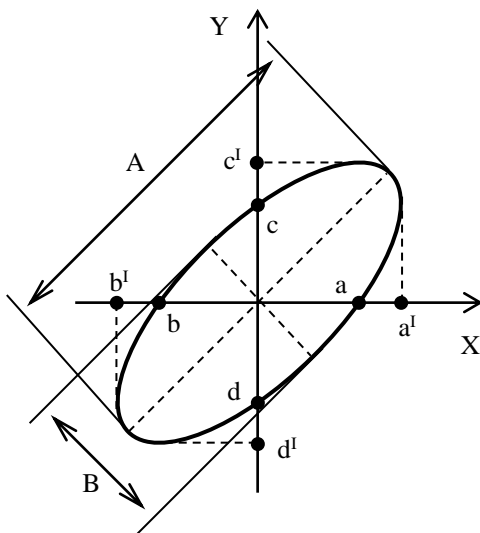


$$\varphi = \left[\frac{ab}{ac} \right] \cdot 360^\circ$$

Рисунок 8 - Измерение фазового сдвига методом линейной развертки,
 где φ – сдвиг по фазе между напряжениями U_1 и U_2 , в градусах;
 ab , ac – соответствующие расстояния на осциллограмме, дел.

3.2. Измерение фазового сдвига по фигуре Лиссажу в виде эллипса.

Сигналы, сдвиг по фазе между которыми измеряется, подаются на входы “X” и “Y” осциллографа. По изображению на экране осциллографа (рисунок 9), сдвиг фаз находится по следующим формулам:



$$\varphi = \arcsin \left(\frac{ab}{a'b'} \right)$$

ИЛИ

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{B}{A} \right)$$

Рисунок 9 - Измерение фазового сдвига по фигуре Лиссажу в виде эллипса
 где φ – сдвиг по фазе между напряжениями U_Y и U_X , в градусах;
 ab , $a'b'$, A , B – соответствующие расстояния на осциллограмме, дел.

Определение фазового сдвига по наклону эллипса представлено на рисунке 10.

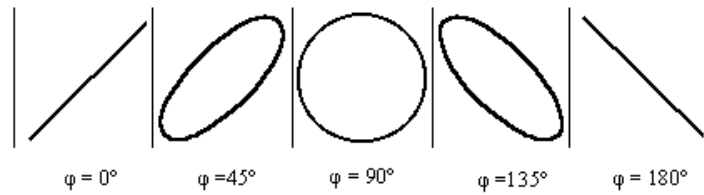


Рисунок 10 - Определение фазового сдвига по наклону эллипса

4. Измерение коэффициента амплитудной модуляции.

4.1. Метод линейной развертки.

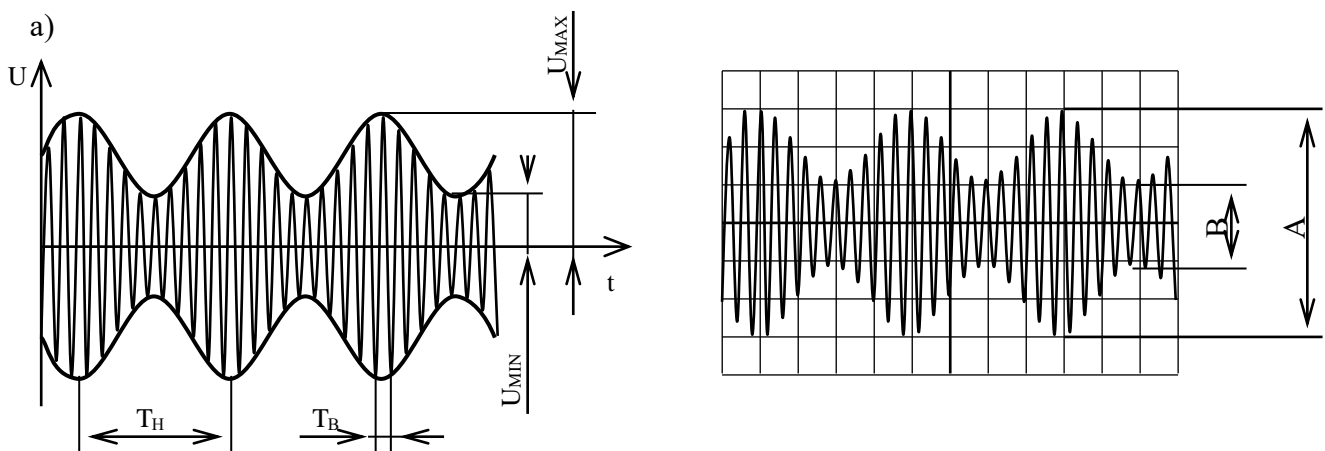


Рисунок 11 - Параметры амплитудно-модулированного сигнала (а) и его осциллограмма (б), где M – коэффициент модуляции (формула 2),

A, U_{MAX} – максимальный размах сигнала,

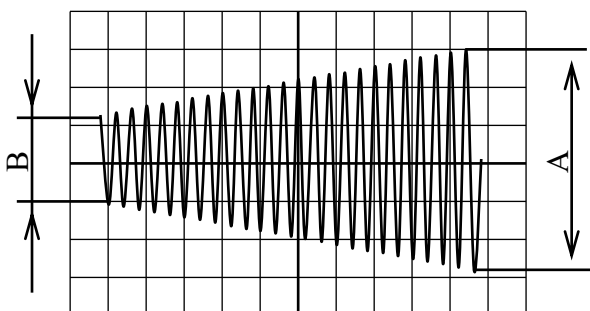
B, U_{MIN} – минимальный размах сигнала,

T_H - период высокочастотного сигнала (несущей),

T_B - период низкочастотного сигнала (огибающей).

$$M = \frac{A-B}{A+B} \cdot 100\% \quad (2)$$

4.2. Метод трапеции (рисунок 12)



$$M = \frac{A-B}{A+B} \cdot 100\% \quad (3)$$

Рисунок 12 - Измерение коэффициента амплитудной модуляции методом синусоидальной развертки,

где M – коэффициент модуляции (формула 3),
 A – большее основание трапеции,
 B – меньшее основание трапеции.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие параметры сигналов можно измерить с помощью осциллографа?
2. Измерение частоты методом синусоидальной и круговой развертки.
3. Методы измерения фазового сдвига.
4. Измерение коэффициента амплитудной модуляции.

СТРОБОСКОПИЧЕСКИЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Стробоскоп (от греч. *strobos* – кружение) - это прибор, позволяющий движущийся предмет видеть неподвижным. Эти осциллографы применяют для исследования очень быстрых, повторяющихся процессов.

Метод временной трансформации сигнала позволяет, не изменяя формы сигнала, растянуть его во времени и использовать для получения осциллограммы (рисунок 13).

Исходный сигнал, повторяющийся с периодом T , модулируется по амплитуде в последовательность коротких стробирующих импульсов. Период следования сигнала увеличивается на время Δt . Если первый строб импульс совпадает с началом первого периода сигнала (a_1), то второй строб импульс сдвинут относительно начала периода на Δt (a_2), третий - на $2\Delta t$. В результате амплитудной модуляции получается последовательность импульсов, в которой каждый импульс имеет размах пропорциональный напряжению сигнала в стробируемой точке.

Форма огибающей повторяет форму исходного сигнала, её период в n раз больше. Таким образом, происходит трансформация сигнала во времени.

Увеличение числа отсчетов позволяет более детально проанализировать исходный сигнал.

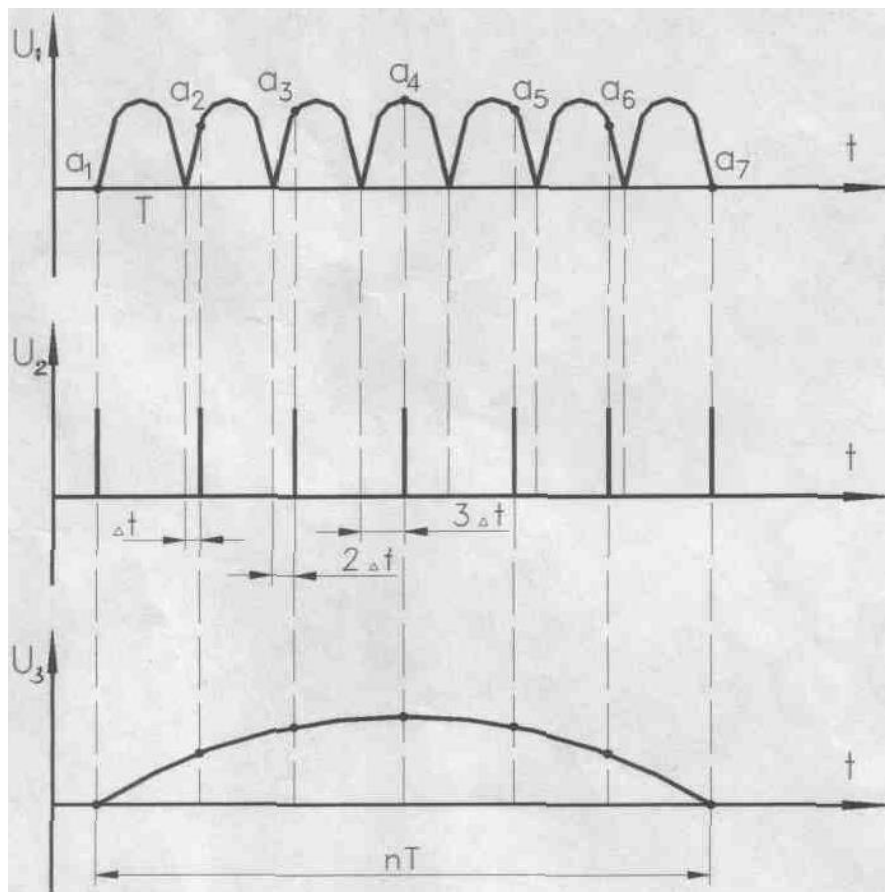


Рисунок 13 - Метод временной трансформации сигнала

Вопросы для самопроверки:

1. Назначение стробоскопических осциллографов.
2. Суть временной трансформации сигнала.

ЗАПОМИНАЮЩИЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Запоминающий осциллограф - это прибор, позволяющий запомнить исследуемый сигнал и длительно воспроизводить его осциллограмму. Их используют для регистрации однократных процессов.

От обычного не запоминающего осциллографа $ЗО$ отличается наличием памяти, в качестве которой используется запоминающая трубка ($ЗТ$) или аналогово-цифровой преобразователь ($АЦП$) с запоминающим устройством ($ЗУ$), которые сохраняют на определенное время исследуемый сигнал и при необходимости представляют его осциллограмму или дискретные отсчетные значения для визуального наблюдения, либо для последующей обработки. В первом случае $ЗО$ представляет собой осциллограф на основе $ЗТ$ с видимым изображением ($ЗТВИ$) или с внутренним электрическим считыванием, во втором—цифровой осциллограф.

Наличие памяти в современных $ЗО$ позволяет регистрировать сигналы для длительного хранения (до нескольких суток), последующей обработке или передачи их по каналам связи. С помощью $ЗО$ можно отдельно записывать, а затем совместно воспроизводить на экране одиночные импульсные сигналы, моменты возникновения которых значительно разнесены во времени; выборочно, в любой последовательности, накладывать одно изображение на

другое, совмещать их координатные системы. Обработка содержащейся в сигналах информации может производиться оператором или с помощью внешних устройств ЭВМ. Для ввода в ЭВМ одиночных или редко повторяющихся сигналов с помощью ЗО осуществляется их масштабное-временное преобразование и цифровое кодирование изображений осциллограмм.

Важным свойством ЗО является способность накапливать периодически повторяющиеся сигналы и выделять их из шума с помощью методов цифрового преобразования или использования скоростных запоминающих ЭЛТ с видимым изображением.

Запоминание исследуемого сигнала в осциллографе осуществляется путем записи его с помощью записывающего прожектора ЗЭЛТ, генератора развертки и схемы управления лучом. Запись может быть как однократной, так и многократной (последовательное наложение изображений). Последний режим называется накоплением и позволяет существенно улучшить качество записываемого изображения для периодических сигналов. Записанное изображение должно сохраняться в течение длительного времени для обеспечения возможности воспроизведения с помощью воспроизводящего прожектора ЗЭЛТ и схемы управления воспроизведением.

В зависимости от метода запоминания различают:

1). Аналоговые - имеют широкую полосу пропускания, скорость записи и начинающие накапливать данные лишь после запуска импульса. Они работают с частотой до 15 ГГц.

2). Цифровые - имеют более дешевые ЭЛТ, способны к выборочной обработке данных, позволяющие одновременно представлять на экране для сравнения предварительно записанный сигнал и текущий. Могут сколь угодно долго хранить информацию в своей цифровой памяти, непрерывно накапливать данные, а остановить процесс можно с помощью синхроимпульса.

Рассмотрим устройство ЗЭЛТ (рисунок 13). Кроме составных частей обычных ЭЛТ, ЗЭЛТ дополнительно имеет узел памяти, узел воспроизведения записанного изображения и вспомогательные электроды, уменьшающие вредные воздействия тяжелых ионов на процесс хранения и воспроизведения осциллограмм.

Узел памяти состоит из двух плоских сеточных электродов, расположенных параллельно экрану. Непосредственно у экрана размещен электрод, называемый мишенью. Это мелкоструктурная металлическая сетка, покрытая слоем диэлектрика. Поверх мишени расположен другой электрод в виде сетки с более крупной структурой—коллектор. Электронный луч, ускоренный анодами трубки, проходя через отклоняющую систему, образует на мишени зарядный (потенциальный) рельеф за счет вторичных электронов, который сохраняется некоторое время. Этот процесс называют записью. Записанная информация может быть воспроизведена другим электронным потоком, который формируется узлом воспроизведения. Узел воспроизведения состоит из одного или нескольких термокатодов и электродов-коллиматоров. Он формирует равномерный не сфокусированный электронный поток, нормальный к плоскости экрана. Участки мишени, облученные электронным

потоком сфокусированных электронов, становятся прозрачными для электронов воспроизводящего потока. Пришедшие электроны ускоряются и засвечивают экран. Таким образом, в ЗЭЛТ используются два электронных потока. Один — эквивалентен электронному лучу обычных трубок, ускоряется очень высоким напряжением (в единицы киловольт), имеет высокую кинетическую энергию. Другой ускоряется небольшим напряжением (около 100 вольт), имеет малую кинетическую энергию, равномерно распределен в пространстве. Если первый поток называется записывающим, то второй — воспроизводящим. В ЗЭЛТ с видимым изображением слой люминофора с внутренней стороны покрыт тонкой металлической пленкой, прозрачной для быстрых электронов. К этой пленке подведено положительное напряжение в несколько киловольт.

Различают два вида электронной памяти, которая применяется в ЗЭЛТ: полутонная и бистабильная.

Полутонные ЗЭЛТ преобразуют электрический сигнал в изображение с полутонами (подобно кинескопу), бистабильные — в двух тоновое изображение, содержащее две градации яркости—белую и черную. Поскольку осциллограммы, как правило, являются двух тоновыми, наибольшее распространение в запоминающих осциллографах нашли бистабильные ЗЭЛТ.

Осциллографы на полутонных трубках (С8-9А, С8-12, С8-14) отличаются большой скоростью записи (до 4000 км/с) и широкой полосой пропускания (до 50 МГц), время воспроизведения составляет 60 секунд, время сохранения записи — 7 часов, погрешность измерения напряжения и времени равна 10%. Осциллографы на бистабильных трубках (С8-13, С8-17) обладают высоким разрешением, большим временем воспроизведения (до 30 минут) при скорости записи 5-40 км/с, время сохранения изображения — неделю.

Схематически конструкция бистабильной ЗЭЛТ показана на рис. 2.5.18, а. На дне стеклянной колбы нанесен слой люминофора (1). Перед экраном (со стороны электронного прожектора) находятся мишень (2) и коллекторная сетка (3). Вместе с крепежным кольцом они образуют блок сетки. Рядом с сеткой находится ионный отражатель (4).

Изображение на экране ЗЭЛТ имеет мозаичную структуру с размером элемента изображения, равным приблизительно шагу сетки. Шаг сетки составляет 0,1...0,2 мм. Сеточное полотно изготавливается методом гальванического осаждения никеля на стеклянную матрицу. Матрица представляет собой полированную пластину, на которой в двух перпендикулярных направлениях проделаны бороздки с нужным шагом. На бороздки методом катодного напыления наносится металл (обычно палладий). Изготовленная таким образом матрица в гальванической ванне покрывается слоем никеля. Готовое сеточное полотно легко отделяется от матрицы. На сетку со стороны электронного прожектора наносится тонкий (1...2 нм) слой диэлектрика (рис. 2.5.18, б). В качестве диэлектрика используются окислы металлов, хлориды и сульфиды. Коллекторная сетка (3) изготавливается также, но имеет большой шаг по сравнению с сеткой мишени.

Помимо перечисленных узлов, ЗЭЛТ, содержит воспроизводящий прожектор (5), формирующий совместно с кольцевыми электродами (8) широкий пучок электронов, равномерно засеивающих мишень, и записывающий прожектор (7). Конструкция записывающего прожектора такая

же, как и в обычных ЭЛТ. Отклоняющие пластины (б) воздействуют только на записывающий луч.

Прохождение электронов воспроизводящего прожектора сквозь сетчатую мишень определяется потенциалами металлической подложки мишени и поверхности диэлектрика. Если перед циклом записи напряжение на сетке имеет определенный отрицательный потенциал — электроны считывающего пучка не достигают люминесцирующего экрана и он не светится. При записи электроны сфокусированного записывающего пучка подходят к мишени с энергией 1000...3000эВ. При такой большой энергии количество вторичных электронов, покидающих мишень, значительно больше первичных, и потенциал облученных участков диэлектрика повышается. В этих местах воспроизводящий пучок начинает проходить на экран и вызывает его свечение. На экране создается как бы проекция потенциального рельефа, записанного на мишени. В дальнейшем, созданный потенциальный рельеф поддерживается воспроизводящим пучком.

Перед записью сигнала необходимо стереть предшествующее изображение и подготовить развертку к новому запуску. Стирание производится подачей на подложку мишени ЗЭЛТ стирающего импульса и может быть ручным и автоматическим. При автоматическом стирании обеспечивается регулируемая выдержка воспроизведения, а после стирания прибор автоматически подготавливается к новой записи. Для периодических сигналов процессы записи, воспроизведения и стирания могут автоматически чередоваться.

Параметры, характеризующие способность ЗЭЛТ хранить и воспроизводить информацию:

1. Время воспроизведения изображения - время непрерывного воспроизведения записанного изображения с момента начала воспроизведения до момента начала потери четкости и контрастности, обусловленной внутренними процессами в ЗЭЛТ.

2. Время сохранения записанного изображения - равно промежутку времени записи с последующим снятием напряжения питания с электродов ЗЭЛТ и временем, когда изображение на экране вновь включенной ЗЭЛТ имеет заданную потерю четкости и контрастности.

Остальные параметры, которыми характеризуют запоминающие осциллографы, те же, что и у универсальных.

Запоминающий осциллограф является гибкой многофункциональной электронной системой, позволяющей проводить разнообразные измерительные операции и автоматизированную обработку одиночных и периодических сигналов.

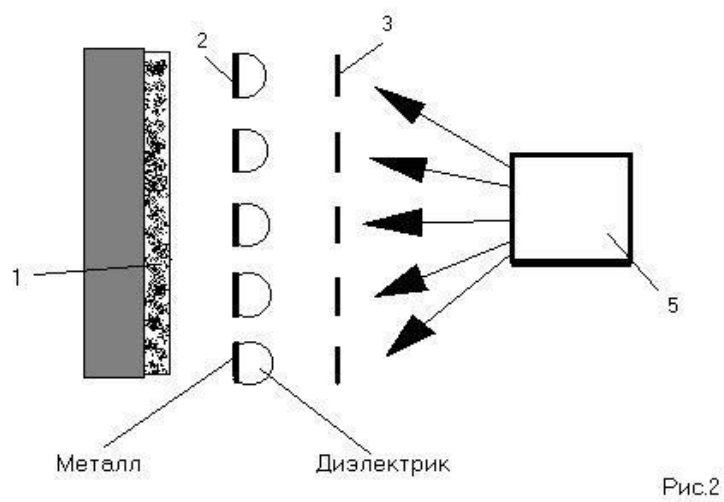
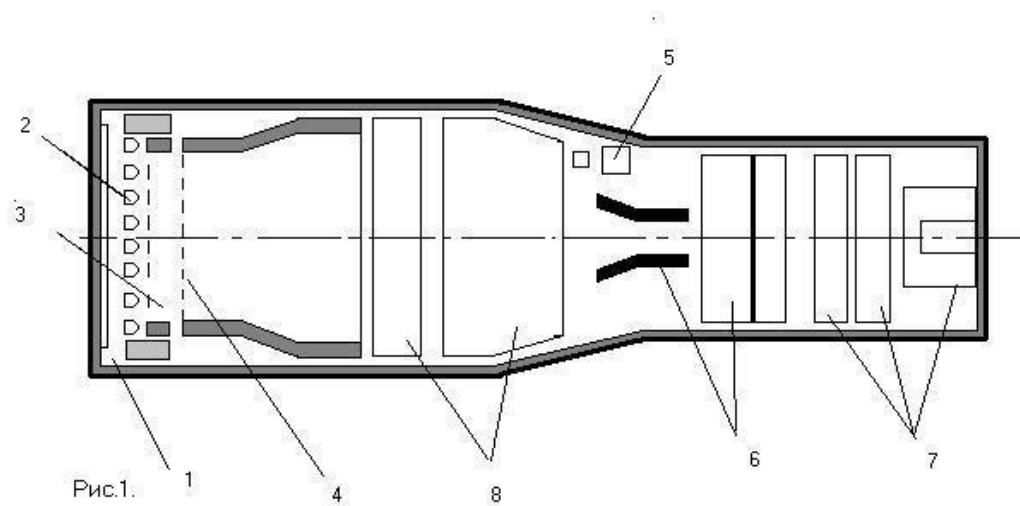


Рисунок 14 - Конструкция бистабильной запоминающей ЭЛТ

Вопросы для самопроверки:

1. Применение запоминающих осциллографов.
2. Аналоговые ЭО.
3. Цифровые ЭО.