

## Раздел 4. Исследование формы сигналов и измерение их параметров

### 4.1. Устройство электронного осциллографа. Осциллографические измерения

#### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРАХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМЫ СПЕКТРА И НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА**

**Осциллограф** – это устройство, предназначенное для наблюдения формы и измерения амплитудных и временных параметров электрических сигналов. «осцилум» (лат. слово) – колебания, «графо» (греч. слово) – пишу.

Основными техническими показателями электронного осциллографа (ЭО) являются:

1. чувствительность;
2. полоса пропускания;
3. входное сопротивление (МОм) и входная емкость (пФ);
4. максимальное напряжение входного сигнала;
5. искажения исследуемого сигнала;
6. виды разверток;
7. тип электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) или размеры экрана;
8. наибольшая частота синхронизации;
9. погрешности измерения амплитуды и временных интервалов.

С1 – универсальные осциллографы

С2 – модуломеры

С3 – девиометры

С4 – анализаторы спектра

С6 – измерители нелинейных искажений

С7 – скоростные и стробоскопические осциллографы

С8 – запоминающие осциллографы

С9 – специальные осциллографы

ЭО классифицируют по следующим признакам:

#### **1. По назначению и принципу действия:**

1.1. **Универсальный** осциллограф (в котором исследуемый сигнал через аттенюатор или усилитель подается на вертикально отклоняющую систему электронно-лучевой трубки, а горизонтальное отклонение осуществляется генератором развертки);

1.2. **Стробоскопический** осциллограф (обеспечивает закономерный или случайный отбор мгновенных значений исследуемого сигнала и осуществляет его временное преобразование);

1.3. **Запоминающий осциллограф** (в котором при помощи запоминающих устройств – ЭЛТ с памятью, возможно сохранить на определенное время исследуемый сигнал и при необходимости возобновить его

на экране);

**1.4.Специальный осциллограф** (предназначен для целевого применения).

## **2.По количеству одновременно наблюдаемых сигналов:**

**2.1.Многоканальный** осциллограф (в котором специальными устройствами обеспечивается измерение двух и более сигналов, поступивших по нескольким каналам на экран однолучевой электронной трубки);

**2.2.Многолучевой** осциллограф (ЭЛТ имеет два и более электронных луча, которыми можно управлять совместно или отдельно).

### Вопросы для самопроверки:

1. Перечислить подгруппы приборов для исследования формы, спектра и нелинейных искажений сигнала.
2. Дать определение электронного осциллографа.
3. Классификация осциллографов по количеству одновременно наблюдаемых сигналов.
4. Классификация осциллографов по назначению и принципу действия.
5. Перечислить основные технические показатели ЭО.

## **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА**

Главной составляющей любого осциллографа является ЭЛТ, на которой представляется наблюдаемый сигнал. У всех ЭЛТ есть: катод, испускающий пучок электронов; модулятор – управляющая сетка для регулировки луча; две пары пластин, которые ускоряют и фокусируют луч (горизонтальное – X и вертикальное – Y).

При отсутствии напряжения на отклоняющих пластинах пучок электронов фокусируется в центре ЭЛТ и образует светящуюся точку. Степень отклонения луча какой-либо парой пластин пропорционально приложенному к ним напряжению.

ЭЛТ можно классифицировать по следующим признакам: по числу электронных пучков; по методу отклонения электронного луча; по наличию или отсутствию послеускорения электронов; по характеристикам экрана.

### Световые параметры ЭЛТ:

1. диаметр светового пятна при оптимальной яркости (разрешающая способность);
2. максимальная яркость свечения экрана (яркость регулируется путем изменения отрицательного напряжения на модуляторе);
3. цвет свечения экрана (зеленый и желтый – для наименьшей утомляемости глаза оператора);
4. время послесвечения (время свечения экрана должно быть больше времени воздействия на него электронов – времени послесвечения) – для улучшения визуального восприятия (составляет порядка 100 мс)

### Эксплуатационные параметры ЭЛТ:

1. чувствительность по осям X и Y;
2. полоса пропускания ЭЛТ;

3. размер рабочей части экрана, в пределах которой искажение осциллограммы минимальное.

Вопросы для самопроверки:

1. Классификация электронно-лучевых трубок.
2. Основные технические показатели ЭЛТ.
3. Основные световые показатели ЭЛТ.

## **ВИДЫ РАЗВЕРТОК ОСЦИЛЛОГРАФА**

**Развёрткой** называют линию на экране осциллографа, которую вычерчивает луч в отсутствие сигнала.

В ЭО можно использовать следующие виды разверток:

**1. Линейная** (наиболее распространенная) развёртка может быть однократной, ждущей и непрерывной.

В случае линейной развёртки луч, двигаясь равномерно по экрану, прочерчивает прямую горизонтальную линию, как бы нанося на экран ось абсцисс декартовой системы координат – ось времени. Если на вертикально отклоняющиеся пластины подать исследуемый сигнал, то луч будет смещаться от линии развёртки, причём величина отклонения пропорциональна мгновенному значению сигнала в текущий момент времени.

**1.1. Однократная** развёртка применяется для наблюдения одиночных и непериодических процессов.

На пластины X подают линейно изменяющийся (пилообразный) импульс, как показано на рисунке 1, от генератора развёртки. Запуск генератора развёртки осуществляют несколько раньше момента появления напряжения на пластине X, для чего в осциллографах производится небольшая задержка входного сигнала. После того как луч достигнет края экрана (при этом напряжение на пластине X равно амплитуде развёртки  $U_p$ ), луч возвращается в исходное положение и осциллограф готов к приходу следующего сигнала.

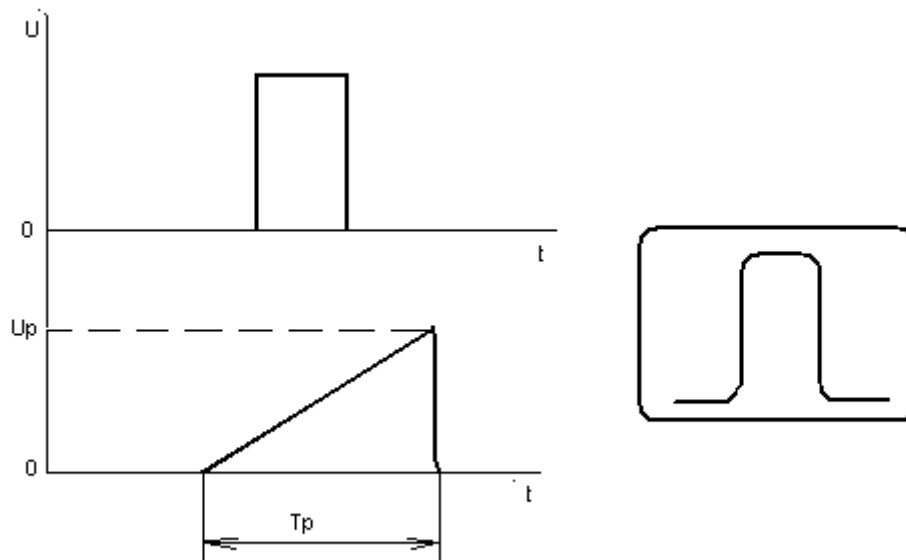


Рисунок 1- Однократная развёртка

**1.2.Непрерывная** (автоколебательный режим работы) используется для исследования непрерывных периодических процессов;

Напряжение развёртки при этом непрерывно и изображение образуется наложением осциллограмм, полученных на каждом периоде исследуемого сигнала (как показано на рисунке 2), или на нескольких периодах (рисунок 3).

Период развертки следует выбирать так, чтобы изображение на экране было неподвижным. Это возможно при выполнении условия: отношение периода развертки  $T_p$  к периоду исследуемого сигнала  $T$  кратно целому числу (формула 1):

$$T_p / T = n, \quad (1)$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  ( $n=1$  соответствует изображению одного периода сигнала,  $n=2$  – двух периодов и т. д.).

Если кратность не выполняется, то изображение сигнала на каждом периоде смещается. Это приводит к появлению бегущего изображения; наблюдать сигнал при этом не возможно. Кратность развертки периоду повторения сигнала обеспечивается устройством синхронизации осциллографа.

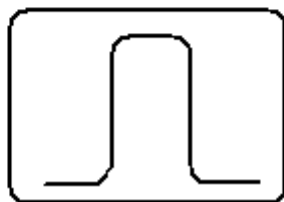
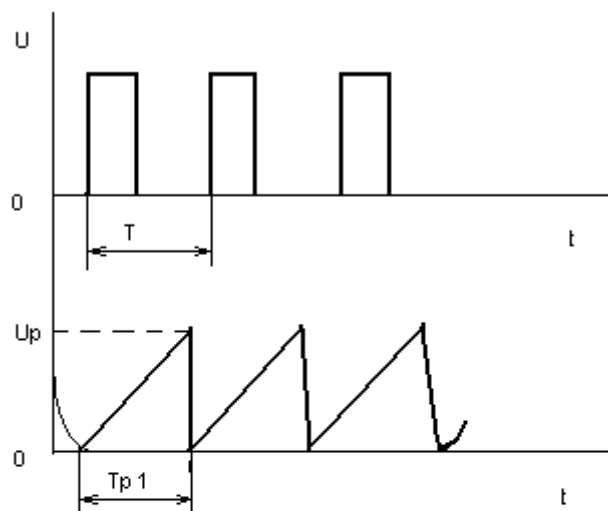


Рисунок 2 – Непрерывная развёртка ( $T_{p1}=T$ )

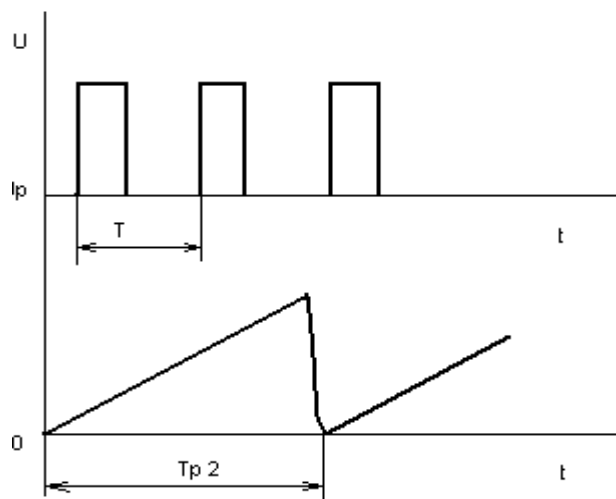


Рисунок 3 – Непрерывная развёртка ( $T_{p2}=2T$ )

**1.3.Ждущая** (применяется для исследования непериодических сигналов, а также импульсов малой длительности с большим периодом повторения, когда непрерывная развертка малоприменяема).

Напряжение развёртки вырабатывается только при наличии на входе осциллографа исследуемого сигнала. Кратность развёртки в данном случае не играет роли. На рисунке 4 показаны напряжения развертки и осциллограмма импульса при ждущей развёртке.

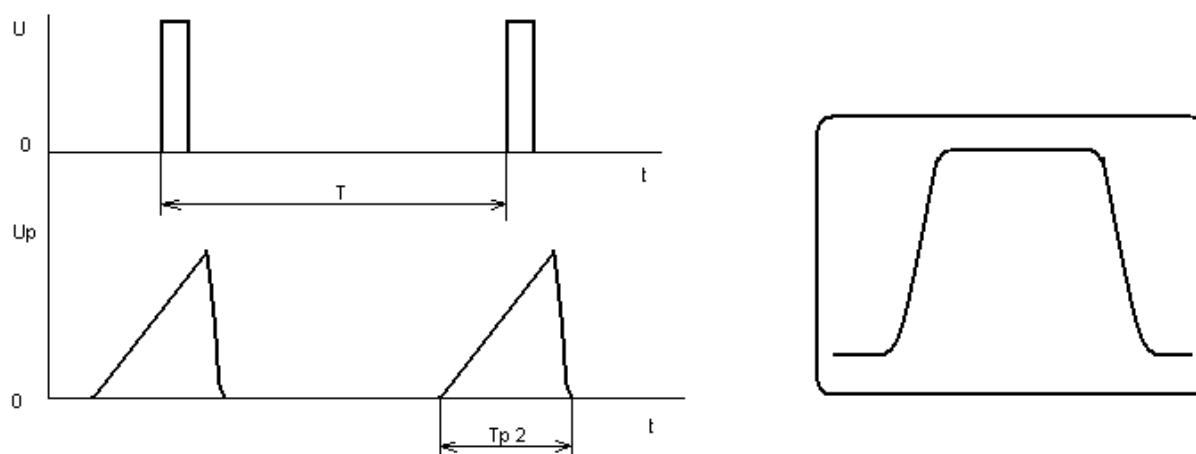


Рисунок 4 – Ждущая линейная развёртка

**2. Синусоидальная** (используют для получения фигур Лиссажу при измерении частоты методом сравнения).

**3. Круговая** (используется при измерении частоты и разности фаз).

В этом случае линия развертки представляет собой окружность или эллипс, причём её длина больше, чем в случае линейной развертки, и отсутствует обратный ход луча. Для создания круговой развертки используется генератор синусоидального напряжения, сигнал с которого подаётся на пластины X со сдвигом  $90^\circ$ . Равенство амплитуд напряжений на пластинах даёт круговую развёртку, при не равенстве – линия развёртки представляет собой эллипс.

В современных осциллографах широко распространены генераторы двойной развёртки (задерживающей и задержанной). Применение двойной развёртки существенно увеличивает функциональные возможности осциллографа. В частности, это позволяет рассматривать отдельные участки сигнала в удобном масштабе, что повышает точность измерения. Принцип действия двойной развёртки показан на рисунке 5.

Первая (задерживающая) развёртка позволяет наблюдать полный сигнал, и её линейной развёртки. Она допускает все режимы работы линейной развёртки. Вторая (задержанная) развёртка запускается с некоторой задержкой относительно начала первой развёртки. Период задержанной развёртки можно выбрать независимо и, в частности, меньше периода первой развёртки. Задержка запуска второй развёртки делается регулировкой, и при рассмотрении полного сигнала (когда на пластины подаётся напряжение первой развёртки) область действия второй развёртки выделяется яркостной отметкой.

Регулировкой задержки и длительности второй развёртки можно установить яркостную отметку на интересующую часть сигнала.

Переключение осциллографа на работу с задержанной развёрткой позволяет наблюдать выбранную часть сигнала. При работе осциллографа попеременно от двух развёрток производится обзор всего сигнала и измерение его параметров с повышенной точностью.

Погрешность измерения временных параметров сигнала зависит главным образом от линейности развёртки, которую характеризуют коэффициентом нелинейности (формула 2):

$$p = \left| \frac{\left. \frac{dU_p}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{dU_p}{dt} \right|_{t=T_p}}{\left. \frac{dU_p}{dt} \right|_{t=0}} \right| \quad (2)$$

Коэффициент не линейности выражает относительное изменение скорости нарастания напряжения в начале и в конце рабочего хода развёртки. Для качественного изображения процесса требуется иметь нелинейность не более 1÷3%, однако для проведения измерений с высокой точностью необходимо иметь генератор развёртки с нелинейностью не менее 1%.

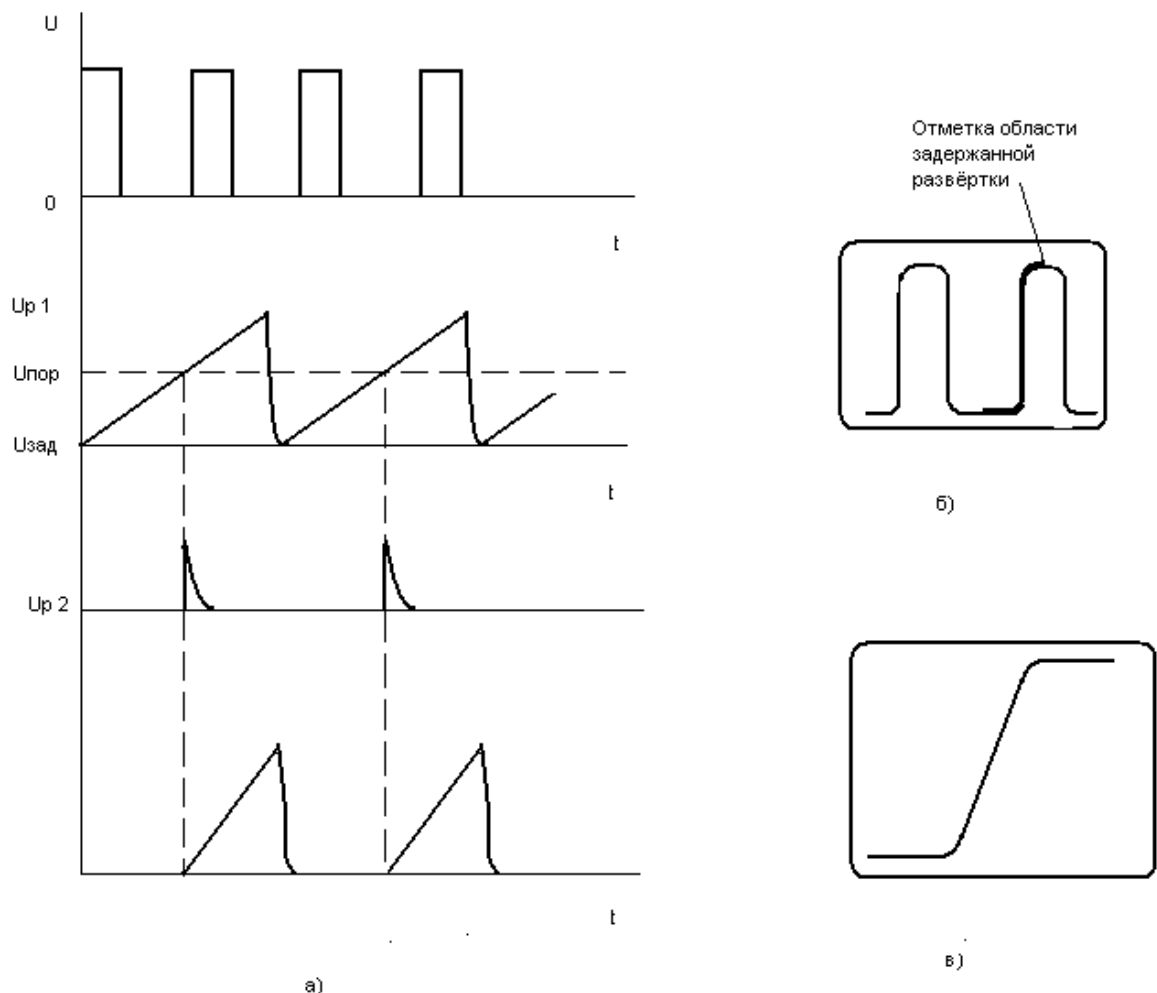


Рисунок 5 – Задерживающая и задержанная развёртки:

а - диаграммы напряжений;

б – осциллограмма импульсов при задерживающей развёртке;

в – осциллограмма импульсов при задержанной развёртке.

Осциллограмма на экране будет неподвижной в том случае, когда исследуемый сигнал и развертка будут синхронными. **Условие синхронизации** (формула 3):

$$T_p = n T_c \text{ или } f_p = f_c / n, \quad (3)$$

где  $T_p$  – период развертки,

$T_c$  – период исследуемого сигнала,

$n$  – целое число,

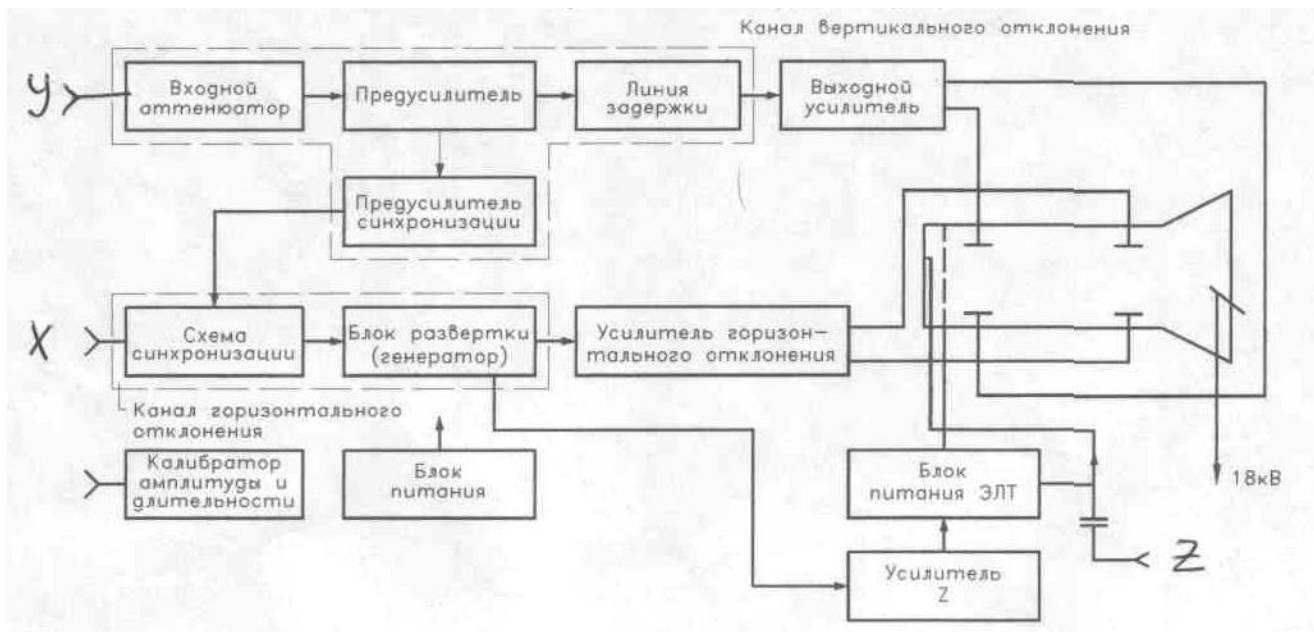
$f_p$  – частота развертки,

$f_c$  – частота исследуемого сигнала.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое развертка осциллографа.
2. Условие синхронизации.
3. Непрерывная развертка.
4. Ждущая развертка.
5. Круговая развертка.

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ



Осциллограф имеет три канала: X, Y, Z.

**1. Канал Y** - канал вертикального отклонения, на который подается исследуемый сигнал. Он характеризуется: полосой пропускания, чувствительностью, нелинейностью амплитудной характеристики, временем задержки и установлением сигнала, амплитудой входного сигнала, входным сопротивлением и входной ёмкостью.

Основные блоки:

**Входной аттенюатор** обеспечивает большое входное сопротивление и ослабляет входной сигнал в определенное число раз.

**Предусилитель** предназначен для согласования большого входного сопротивления с малым сопротивлением линии задержки

**Линия задержки** представляет собой коаксиальный кабель или искусственные длинные линии и обеспечивает неискаженное воспроизведение фронта сигнала в режиме ждущей развертки, при наблюдении сигналов в автоколебательном режиме задержку на 140 нс, что позволяет генератору развертки запускаться до поступления сигнала на вертикально отклоняющие пластины. Это дает возможность исследовать передний фронт сигнала при внутреннем запуске.

**Выходной усилитель** повышает чувствительность электронного осциллографа и усиливает слабые исследуемые сигналы.

**2. Канал X** - канал горизонтального отклонения ( на его вход может подаваться как сигнал внешней синхронизации, так и исследуемый) .

Основные блоки:

**Схема синхронизации** предназначена для получения неподвижного изображения на экране ЭЛТ. В ней осуществляется выбор источника синхронизации (внутренний, внешний, от сети), вида связи с источником синхронизации (открытый, закрытый), полярности синхронизации.

**Блок развертки** предназначен для осуществления временной развертки луча и выработки пилообразного напряжения

**Усилитель горизонтального отклонения** усиливает до необходимого размера пилообразное напряжение, может умножать скорость развертки в 10 раз. С выхода этого усилителя пилообразное напряжение поступает на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ. В осциллографе предусмотрена возможность подачи внешнего сигнала на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ через усилитель горизонтального отклонения, при этом внешний сигнал подается на вход X.

**Калибратор амплитуды и длительности** является внутренней мерой сигналов. При калибровке выходной сигнал калибратора подается на вход Y осциллографа, и на экране ЭЛТ наблюдается изображение калибровочного сигнала.

**Блок питания** выпрямляет и стабилизирует сетевое напряжение и обеспечивает питающим напряжением ЭЛТ и всю схему прибора.

**3. Канал Z** предназначен для управления яркостью ЭЛТ. С выхода усилителя Z (усилитель подсвета) снимаются импульсы для подсвета прямого хода развертки и гашения обратного хода. Эти импульсы через блок питания ЭЛТ управляет его работой. На вход усилителя Z можно подавать внешний сигнал для получения яркостных меток времени.

Вопросы для самопроверки:

1. Назначение канала X электронного осциллографа, основные блоки.
2. Назначение канала Y электронного осциллографа, основные блоки.
3. Назначение канала Z.

## КАЛИБРОВКА ОСЦИЛЛОГРАФА

Внутренний калибратор осциллографа выдает прямоугольные импульсы. На вход Y ЭО подают образцовое калибровочное напряжение и так регулируют усиление, чтобы высота прямоугольного импульса занимала 4-5 см (в зависимости от типа осциллографа). В этом случае чувствительность будет соответствовать величине, указанной на шкале переключателя В/дел. Тогда (формула 4):

$$U = l_y n_y, \quad (4)$$

где  $l_y$  – высота сигнала в делениях,

$n_y$  – величина чувствительности (коэффициент отклонения).

Изменение временных интервалов осуществляется с помощью калиброванной во времени линейной развертки. Внутренний калибратор выдает сигнал с частотой 1 кГц. Необходимо, чтобы на экране ЭО, подбором чувствительности по горизонтали, получить сигнал с периодом 1 мс. Длительность импульса рассчитывается по формуле 5:

$$\tau_{и} = l_x n_x k, \quad (5)$$

где  $l_x$  – ширина импульса на уровне 0,5 от его высоты, в делениях,

$n_x$  – цифровая отметка переключателя «время/дел»,

$k$  – коэффициент, равный 1 или 0,1.

Вопросы для самопроверки:

1. Для чего проводится калибровка осциллографа?
2. Суть калибровки ЭО.