

Лабораторная работа № 1

Измерение параметров сигналов в электронных схемах

Цель работы: изучение методов и средств измерения амплитудных и временных параметров сигналов в электронных цепях и ознакомление с устройством, принципом действия и техническими характеристиками электронных осциллографов.

Используемое оборудование:

- универсальный лабораторный стенд по информационно-измерительной технике;
- лабораторный модуль №3, содержащий усилитель с RC-связью;
- универсальный электронный осциллограф;
- электронный милливольтметр.

При выполнении работы электронные приборы соединяются между собой при помощи коаксиальных кабелей с разъёмами и соединительных проводов.

1 Краткие теоретические сведения

Универсальные электронные осциллографы (ЭО) позволяют наблюдать форму и измерять амплитудные и временные параметры электрических сигналов в диапазоне частот от постоянного тока до десятков гигагерц.

Все осциллографы, независимо от назначения и устройства, имеют общие узлы (рис. 1.1): электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) с электростатическим управлением луча и люминесцирующим экраном, канал вертикального отклонения луча (КВО), канал горизонтального отклонения луча (КГО), канал яркости Z (KZ), блок питания (БТТ) и блок калибраторов напряжения и времени (БК).

Для преобразования исследуемого сигнала в видимое изображение на экране исследуемый сигнал подаётся на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. Одновременно на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ подаётся линейно изменяющееся (пилообразное) напряжение U_p , называемое развёртывающим.

Напряжение U_p развёртки отклоняет электронный луч на экране ЭЛТ по горизонтали с постоянной скоростью, что позволяет создать масштаб времени по оси X . По окончании цикла развёртки развёртывающее напряжение принимает первоначальное значение, луч возвращается в исходное состояние и цикл повторяется.

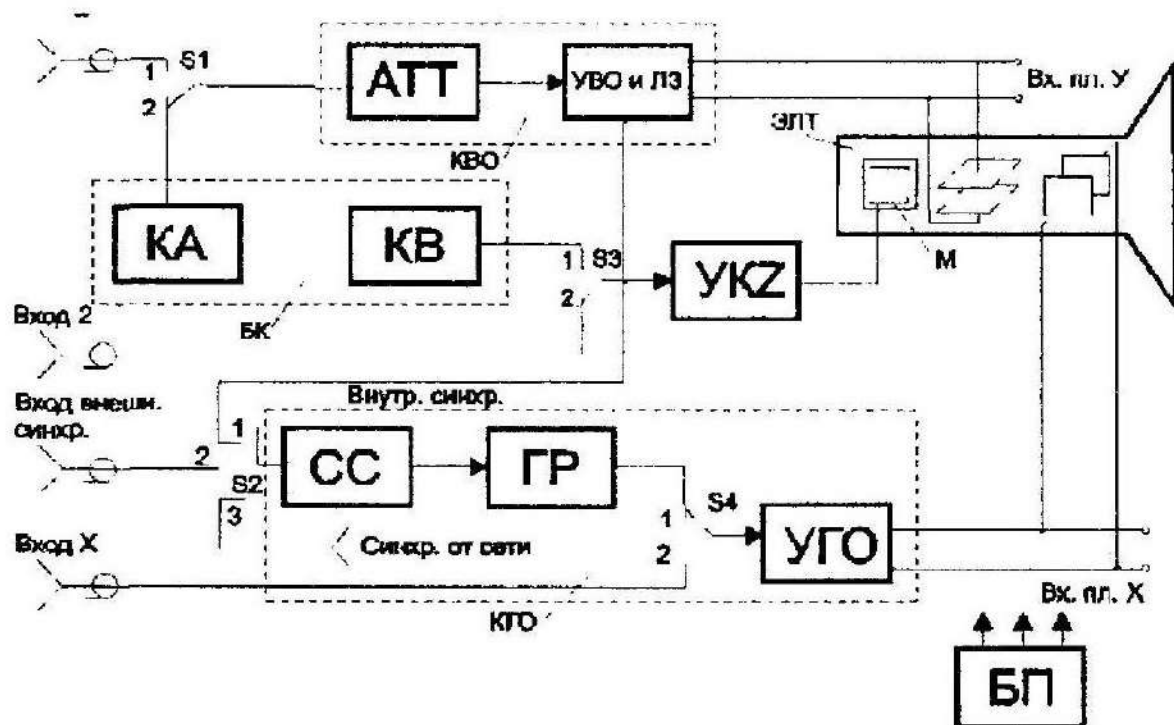


Рис. 1.1. Структурная схема электронного осциллографа

На экране ЭЛТ возникает изображение мгновенных значений сигнала, т.е. его осциллограмма. Так как напряжение исследуемого сигнала и развёртки могут быть малыми, то в ЭО в каждом канале предусмотрены усилители, коэффициент усиления которых можно плавно изменять.

Канал вертикального отклонения

От входа У (положение «1» переключателя S1) исследуемый сигнал подаётся через аттенюатор (АТТ), усилитель вертикального отклонения (УВО) и линию задержки (ЛЗ) на вертикально отклоняющую систему ЭЛТ. При помощи АТТ дискретно устанавливается необходимое ослабление сигнала, что обеспечивает работу УВО с минимальными нелинейными отклонениями (в линейной области амплитудной характеристики УВО). Усиленный УВО сигнал задерживается ЛЗ на время, необходимое для срабатывания КГО. Это необходимо для того, чтобы движение луча по горизонтали началось раньше, чем сигнал с выхода УВО поступит на пластины У ЭЛТ, что улучшает условия масштабирования и наблюдения одиночных импульсов.

Канал горизонтального отклонения

Линейно изменяющееся напряжение развёртки U_p , амплитуда которого достаточна для отклонения луча ЭЛТ на весь экран, формиру-

ется каналом горизонтального отклонения (КГО). Он состоит из схемы синхронизации и запуска (СС), генератора развёртки (ГР), усилителя горизонтального отклонения (УГО).

Устойчивость (неподвижность) изображения на экране достигается синхронизацией частоты сигнала f_p развёртки с частотой f , кГц исследуемого сигнала.

При этом должно соблюдаться соотношение:

$$f = f_p \cdot n \quad (1)$$

или

$$T_p = T \cdot n, \quad (2)$$

где T_p и T - периоды сигнала развёртки и исследуемого сигнала, мс;

$n = 1, 2, 3, \dots$ - целое число,

Запуск схемы синхронизации и ГР может быть осуществлён внешним сигналом «ВХОД ВНЕШ. СИНХР.», исследуемым сигналом «ВНУТР. СИНХР.» и напряжением сети «СИНХР. ОТ СЕТИ» (положения 2, 1 и 3 соответственно).

Для исследования непрерывных периодических сигналов и последовательностей импульсов с малой скважностью используется непрерывный режим работы ГР. При этом поддерживается соотношение:

$$f_p = f / n. \quad (3)$$

При осциллографировании импульсов большой скважности, а также случайных непериодических и однократных сигналов используют «ждущую развёртку». Сущность её заключается в том, что в отсутствие сигнала на входе У напряжение развёртки не вырабатывается: ГР «ждёт» синхронизирующего сигнала и генерирует только один период развёртки при его приходе. Развёртывающий луч на экране ЭЛТ за время t_{np} отклоняется по горизонтали на всю шкалу. Запускающий ГР импульс опережает исследуемый сигнал. Это достигается задержкой последнего с помощью линии задержки ЛЗ в схеме КВО. Для получения яркостных меток времени в некоторых ЭО имеется канал Z. Внешний модулирующий сигнал подаётся на модулятор (М) ЭЛТ через усилитель канала Z (КZ). Для точного измерения амплитудных и временных параметров исследуемых сигналов в состав ЭО входят калибратор амплитуды (КА) и калибратор времени (КВ), предназначенные для калибровки коэффициентов отклонения КВО и коэффициентов развёртки (длительности) КГО.

Измерение временных интервалов с помощью калибровочных меток

В этом случае от калибратора времени КВ или от внешнего генератора известной частоты через переключатель S3 калибровочные метки, синхронные с периодом повторения исследуемого сигнала, подаются на вход Z или непосредственно на модулятор ЭЛТ. На осциллограмме появляются яркостные метки (рис.1.2, б). Подсчёт m числа их на измеряемом интервале и позволит определить длительность последнего в мс:

$$T = T_0 \cdot m. \quad (4)$$

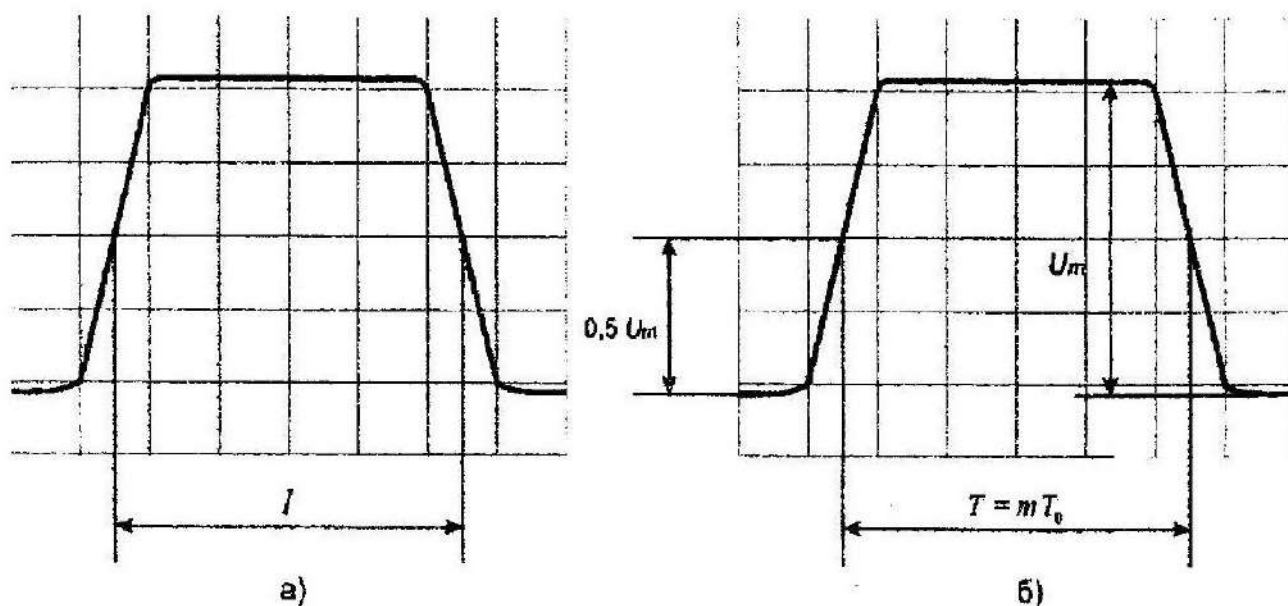


Рис. 1.2. Измерение длительности импульса: а - с помощью калиброванного сигнала типа «Меандр»; б - с помощью калиброванных меток времени

ЭО характеризуется:

- полосой пропускания каналов вертикального и горизонтального отклонения;
- чувствительностью КГО и КВО;
- амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) обоих каналов;
- диапазоном изменения частоты развёртки;
- входным сопротивлением КВО;
- диапазоном изменения амплитуды входных сигналов;
- основными и дополнительными погрешностями измерения амплитуды и временных параметров исследуемого сигнала.

АЧХ - зависимость коэффициента передачи канала $U_{вых}/U_{вх}$ от частоты входного синусоидального сигнала:

$$k = U_{вых}/U_{вх} = F(f).$$

Полоса пропускания КВО - диапазон частот, в пределах которого значение АЧХ отличается не более чем на 3 дБ от значения на опорной частоте.

Основные правила выбора электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО)

Выбор типа ЭЛО производится в зависимости от его назначения и измерительных возможностей (предел измерений, частота, амплитуда и длительность входного сигнала, степень точности воспроизведения и погрешности измерения амплитудных и временных параметров сигнала, число одновременно регистрируемых сигналов). Наличие в ЭЛО АЦП позволяет осуществить выдачу результатов в цифровой форме, что упрощает работу с ЭЛО.

Современные ЭЛТ могут воспроизводить сигналы без искажений с частотой до сотен и тысяч МГц, поэтому частота пропускания определяется в основном частотной характеристикой усилителя ВО. Неправильный выбор АЧХ усилителя ВО, а следовательно и ЭЛО в целом, приводит к искажениям при исследовании импульсных и несинусоидальных сигналов. Прямоугольный импульс содержит бесконечно много гармонических составляющих (теоретически), поэтому чем больше полоса пропускания, тем меньше искажения. Полоса пропускания электронного осциллографа связана с временем нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения t_H (нс) следующим соотношением:

$f_B = 350/t_H$, где f_B - верхняя граничная частота (МГц) полосы пропускания.

Например: при $t_H = 50$ нс $f_B = 350/50 = 7$ МГц.

Если необходимо воспроизвести без искажений фронт t_ϕ (нс) прямоугольного импульса длительностью t_H , то нужно, чтобы

$$f_B \geq 350/t_\phi, \quad t_\phi \approx 0,1 t_H.$$

Например: при $t_\phi = 10$ нс $f_B \geq 350/10 \geq 35$ МГц.

Если необходимо воспроизвести без искажений амплитуду прямоугольного импульса длительностью t_H (нс), а неискаженное восприятие фронтов не требуется, то достаточно, чтобы

$$f_B = 700/t_H.$$

Например: при $t_H = 50$ нс $f_B = 700/50 = 14$ МГц.

Нижняя граничная частота t_H (Гц) полосы пропускания, определяющая неравномерность спада плоской вершины импульса ΔU_m (В) относительно амплитуды U_m (В), равна:

$$t_H = \Delta U_m / U_m \cdot 2\pi f_H.$$

При $t_H = 0,1c$, $\Delta U_m = 0,1U_m \cdot f_H \leq 0,1 \cdot 2\pi \cdot 0,1c = 0,16Гц$.

При любых измерениях необходимо учитывать влияние ёмкости входной цепи (входное сопротивление ≈ 1 МОм зашунтировано ёмкостью 40-50 пФ, а с учётом соединительного кабеля - порядка 100 пФ) на источник исследуемого сигнала. Поэтому при исследовании прямоугольных импульсов с крутыми фронтами выбирают осциллограф с малой входной ёмкостью, т.е. с большой полосой пропускания. Большая ёмкость увеличивает длительность фронта из-за длительного времени заряда конденсатора.

При исследовании одиночных и импульсных сигналов большой скважности, а также при тщательном исследовании отдельных участков несинусоидальных сигналов применяют ждущую развёртку с внутренней и внешней синхронизацией. При работе в ждущем режиме длительность развёртки должна быть согласована с частотой повторения исследуемых сигналов. В остальных случаях используют автоколебательную развёртку.

2 Экспериментальная часть

2.1 Основные требования к объёму лабораторной работы

2.1.1 Ознакомиться с составом универсального лабораторного стенда по информационно-измерительной технике и лабораторным модулем №3 (рис.1.3).

2.1.2 Изучить устройство, принцип работы и ознакомиться с техническими характеристиками электронного осциллографа (ЭО).

2.1.3 Получить практические навыки при работе с осциллографом.

2.1.4 Научиться с помощью ЭО измерять параметры электрического сигнала и оценивать погрешности их измерения.

2.1.5 Для выполнения лабораторной работы студентам кроме настоящего описания выдаются технические описания и инструкции по эксплуатации (ТО) приборов, используемых в лабораторной работе.

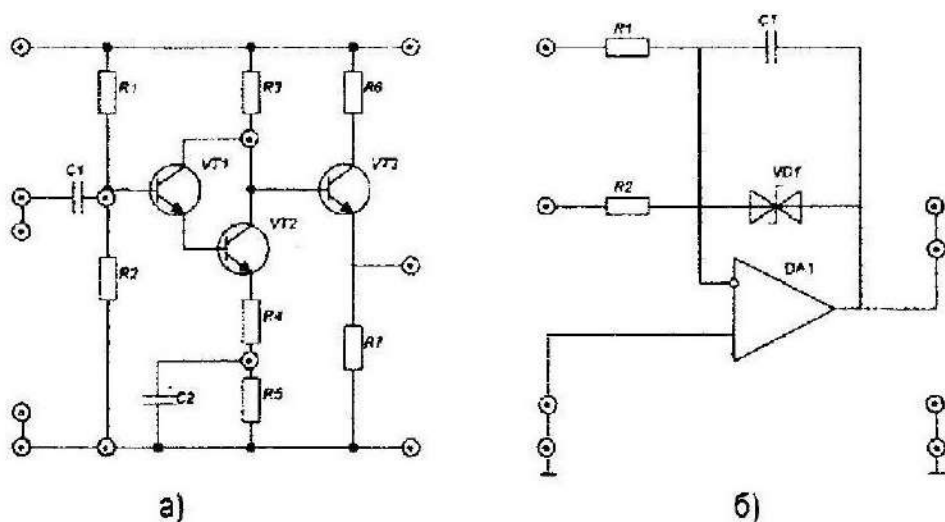


Рис. 1.3. Схема электрическая принципиальная модуля №3

2.2 Рабочее задание и методические указания по проведению эксперимента

2.2.1 Лабораторное задание.

2.2.1.1 Подключить лабораторный модуль №3 к универсальному лабораторному стенду с помощью проводов, соблюдая полярность питающего напряжения.

2.2.1.2 Ознакомиться с назначением органов управления ЭО и получить практические навыки в работе с ним.

2.2.1.3 Измерить частоту и амплитуду синусоидального сигнала и определить погрешности измерения этих параметров с помощью ЭО.

2.2.1.4 Измерить параметры импульсного сигнала.

2.2.2 Методические указания к работе

2.2.2.1 В соответствии с техническим описанием необходимо изучить назначение органов управления ЭО и подготовить его к работе.

2.2.2.2 Включите ЭО и лабораторный стенд. Подайте на вход У ЭО от низкочастотного генератора лабораторного стенда синусоидальное напряжение частотой порядка 1 кГц. Изучите работу генератора развёртки осциллографа и схемы его запуска. При этом входной сигнал должен быть без

видимых искажений. «Поиграйте» с основными органами управления, относящимися к группам «усилитель», «синхронизация», «развёртка», чтобы знать, как выглядит изображение на экране ненастроенного осциллографа.

2.2.2.3 Определение погрешности измерения частоты синусоидального сигнала с помощью ЭО проводится по схеме рис. 1.4 в соответствии с указаниями ТО. Относительные погрешности δ_f измерения ЭО частоты f исследуемого сигнала определяются по формуле:

$$\delta_f = (f - f_0) / f_0 \cdot 100\%, \quad (5)$$

где f — значение частоты сигнала, измеренное ЭО; f_0 — значение частоты сигнала, установленное на лимбе генератора либо измеряемое ЭСЧ и принимаемое за образцовое. Оценку погрешностей измерения частоты провести в нескольких (3-4 значения) точках частотного диапазона. Сравнить значения погрешностей измерения частоты с паспортными данными ЭО.

2.2.2.4 Определение погрешности ЭО при измерении амплитуды (рис.1.4) проводится по следующей методике. В этом опыте образцовым прибором является электронный вольтметр (ЭВ). При измерениях размер изображения должен составлять не менее 3-6 делений по шкале ЭО. Относительная погрешность измерения ЭО амплитуды синусоидального напряжения выражается формулой:

$$\delta_u = (U_{m1} - U_{0m}) / U_{0m} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где U_{m1} и U_{0m} - напряжения, измеренные ЭО и ЭВ соответственно.

Следует иметь в виду, что показания ЭВ U_0 соответствуют среднеквадратическому значению измеряемого напряжения, которое связано с его амплитудой U_{0m} следующим выражением:

$$U_0 = U_{0m} / \sqrt{2}. \quad (7)$$

Эксперимент провести для нескольких значений амплитуды измеряемого сигнала, в том числе при наличии искажений, которые возникают при снижении питающего напряжения (при разных положениях аттенюатора). Сравнить значения погрешностей измерения напряжения с паспортными данными ЭО.

2.2.2.5 Измерение параметров импульсного сигнала (рис.1.5) проводится при подаче на вход ЭО сигнала с выхода импульсного генератора лабораторного стенда.

При измерении амплитуды U_m и длительности t импульс должен занимать не менее половины экрана.

Определите погрешность измерения δ_u амплитуды U_m импульса по формуле (6) и длительности импульса по формуле:

$$\delta_u = (t - t_0) / t_0 \cdot 100\%. \quad (8)$$

При вычислении δ_u импульсного сигнала U_{m1} - напряжение, измеренное осциллографом; U_0 - амплитуда, отсчитанная по шкале ГИ.

При вычислении δ_u t_0 - длительность импульса, отсчитанная по шкале ГИ либо частотомера.

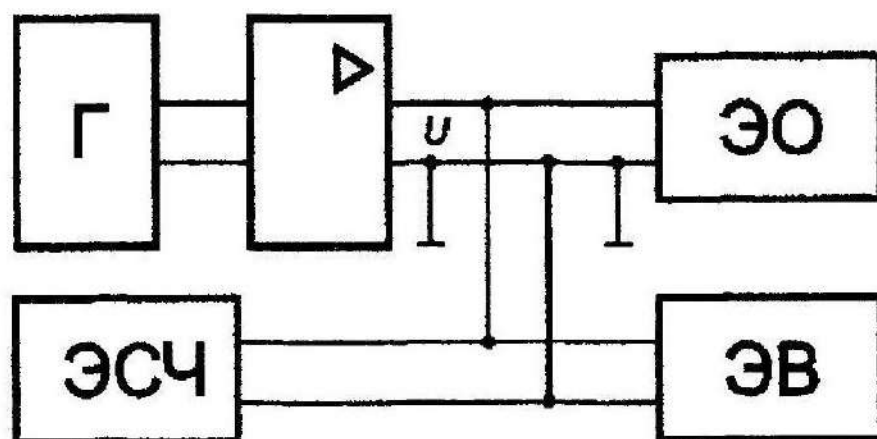


Рис. 1.4. Определение погрешности измерения амплитудных и временных параметров синусоидальных сигналов

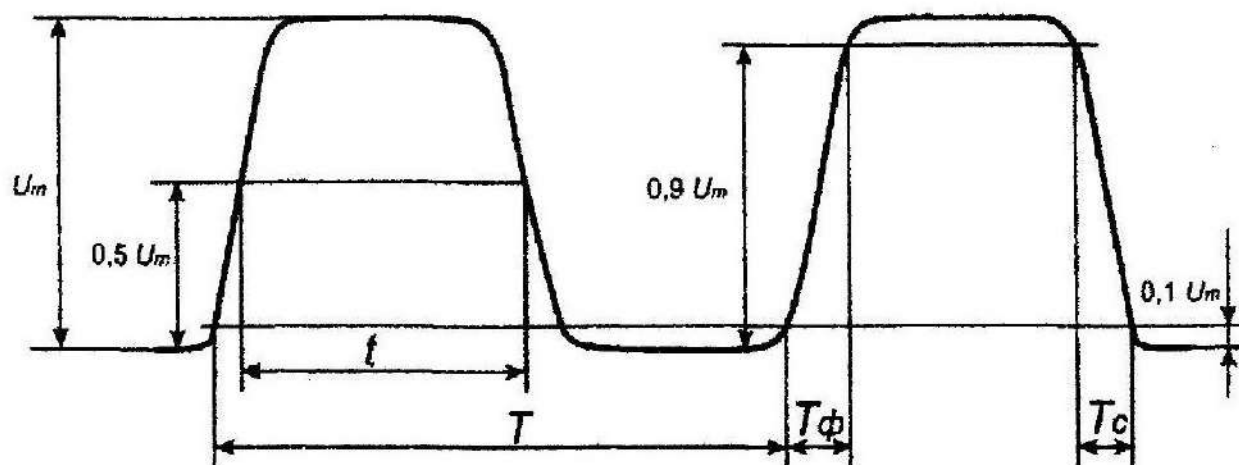


Рис. 1.5. Определение параметров импульсного сигнала

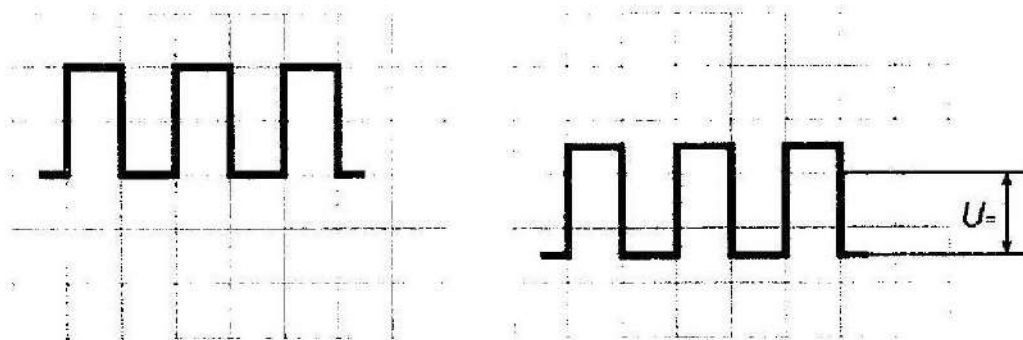


Рис. 1.6. Определение постоянной составляющей импульсного сигнала

При измерении фронта T_f и среза T_c нужно их «растянуть» на весь экран, для чего используется режим ждущей развертки (см. ТО).

При наблюдении и измерении фронта T_f импульса переключатель «синхронизация» должен быть поставлен в положение «+», а при наблюдении среза и измерения среза T_c - в положение «-».

Для растяжки фронтов удобно также пользоваться переключателем в блоке развёртки, установив его в положение «0,2».

2.2.2.6 Определение постоянной составляющей импульсного сигнала проводят следующим образом.

На вход ЭО подаётся импульсный сигнал с выхода усилителя. Сначала переключатель на входе ЭО ставят в положение « \cong » (открытый вход), а затем переводят в положение « \sim » (закрытый вход) и наблюдают, есть ли смещение сигнала (рис.1.6).

Если изображение импульсного сигнала сместится по вертикали, то наряду с импульсной имеется постоянная составляющая этого сигнала - U_0 .

Оценить величину постоянной составляющей сигнала U_0 , используя калибровку канала КВО по методике, изложенной в ТО.

2.3 Содержание отчёта. Отчёт должен содержать:

- структурную схему ЭО;
- основные технические характеристики используемых приборов;
- схемы включения средств измерения и объекта измерения;
- результаты измерений f , U_m , U_0 , T_f , T_c и заключение о величинах погрешностей δ_U , δ_f по сравнению с паспортными данными;
- выводы о соответствии изучаемого ЭО техническим характеристикам в ТО.

3 Контрольные вопросы

1. Объясните работу ЭЛТ, принцип действия и характеристики.
2. Какие блоки входят в состав канала усилителя вертикального отклонения и каково назначение схемы задержки?
3. Зачем нужна «ждущая» развёртка у ЭО?
4. Зачем нужна синхронизация изображения в ЭО? Какие схемы синхронизации используются в изучаемом ЭО? Расскажите об их работе по структурной схеме.
5. Как определяются погрешности δ_f и δ_u измерения параметров синусоидального сигнала ЭО?
6. Назовите параметры импульсного сигнала. Как они измеряются с помощью ЭО?
7. Почему ЭО имеет невысокую точность измерения?
8. Какую форму имеет напряжение развёртки?
9. Как осуществить синхронизацию изображения на экране ЭО внешним сигналом?
10. Как осуществить балансировку УВО и для чего она производится?

Список литературы

1. Метрология и радиоизмерения: учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Ханин, В.К. Бирюков [и др.]; под ред. проф. В.И. Нефёдова. – М.: Высш. шк., 2003. – 526с.
2. Осциллограф дуолучевой С1-96. Краткое техническое описание и инструкция по эксплуатации.
3. Осциллограф сервисный универсальный ОСУ-20. Руководство по эксплуатации.