**1. Назначение прибора**

Импульсные вольтметры предназначены для измерения амплитуд периодических импульсных сигналов с большой скважностью и амплитуд одиночных импульсов.

Вольтметры импульсного тока предназначены для измерения амплитуды видеоимпульсов любой полярности в широком диапазоне длительностей и частот следования, а также для измерения амплитуды радиоимпульсов и синусоидальных сигналов.

Высокоточные импульсные вольтметры используются для поверки и аттестации радиоизмерительной аппаратуры.

Основная трудность измерения амплитуды импульсных сигналов вызвана многообразием форм импульсов с широким диапазоном изменения временных характеристик - длительности импульса и скважности, влияющих на показания ИВ. При этом форма импульсов, временные параметры и их статистические характеристики не всегда известны оператору, поэтому невозможно внести соответствующую поправку в результат измерения.

Измерение амплитуды одиночных импульсов связано с дополнительными трудностями. Если при работе с периодическим сигналом имеется возможность накопить информацию об измеряемой величине многократным воздействием сигнала на измерительное устройств, то при работе с одиночными импульсами энергия, необходимая для измерения, поступает в измерительное устройство только в момент существования импульса.

Вольтметры импульсного тока по способу индикации измерения подразделяются на вольтметры импульсные *стрелочные,* у которых отсчет результатов измерения производится по стрелочному прибору, и вольтметры импульсные *цифровые*, *у* которых отсчет результатов измерения производится по цифровому табло с арабскими цифрами и указателю полярности измеряемого импульса.

Импульсные вольтметры градуируются в амплитудных значениях измеряемых импульсов.

**2. Технические и метрологические характеристики**

В нормативно-технической документации для импульсных вольтметров указывается диапазон допустимых значений длительности импульсов (или их частота) и скважность, при которых погрешности вольтметров находятся в пределах нормированных значений. Так, импульсный вольтметр В4-9А имеет верхние пределы измерений 2,5, 10, 20 В и основную погрешность ±(2,5-4,0) % при частоте следования импульсов 1 Гц - 300 МГц и скважности от 2 до 3∙108.

Характеристики некоторых электронных импульсных вольтметров, которые удалось найти, приведены в табл. 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Основные характеристики  | **В4-2** | **В4-3** | **В4-4** | **В4-9А** |
| *Измерение видеоимпульсов*  |  |  |  |  |
| Диапазон измерений, В  | 3-150 | 0,0003-1 | 3-150 | 1-20 |
| С делителем до, В  | 500 | 100 | - | 200 |
| Пределы измерений, В  | 15; 50; 150 | 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1 | 15; 50; 150 | 2,5; 10; 20 |
| Основная погрешность измерения, %  | ± (4-6) | ± (4-6) | *±* (4-6) | ± (2,5-4) |
| Длительность импульсов, мкс  | 0,1-300 | 1-200 | 0.01- 200 | Более 0,001 |
| Длительность фронта импульсов, нс  | - | - | - | - |
| Частота следования импульсов, кГц  | - | 0,05-10 | 0,02-10 | 0,001- |
| Скважность  | 50-2500 | 2-5000 | Более 2 | 2- |
| Входное сопротивление, МОм,  | 0,2-20 | 1 | 5 | 75 Ом; 0,5 |
| с шунтирующей емкостью, пФ  | 14 | 11 | 2,5-8 | 3 |
| Время установления показаний, с  | 10 | - | - | 10 |
| *Измерение радиоимпульсов*  |  |  |  |  |
| Диапазон измерений, В  | - | - | 10-150 | 1-20 |
| Пределы измерений, В  | - | - | 50-150 | 2;5;10;20  |
| Частота заполнения, МГц  | - | - | До 300 | До 300 |
| Основная погрешность измерения, %  | - | - | ± (4-6) | ± (4-10) |
| *Измерение синусоидального напряжения*  |  |  |  |  |
| Диапазон измерений, В  | - | 0,0003-1 | - | 1-20 |
| Пределы измерений, В  | - | 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1 | - | 2; 5; 10; 20 |
| Диапазон частот  | - | 30 Гц- 500 кГц | - | 20 Гц - 300 МГц |
| Основная погрешность измерения, % | - | ± (4-10) | - | *±* (4-Ю) |
| пределы температур, °С  |  |  |  |  |
| относительная влажность воздуха, *%,*  | 80 | 90 | 90 | 95 |
| при температуре, °С  | 20 | 25 | 25 | 30 |
| Питание: напряжение, В, частотой, Гц: 50  | 220 | 220 | 220 | 220 |
| Потребляемая мощность, В•А  | 30 | 100 | 140 | 25 |
| Габаритные размеры, мм | 310x320x200 | 328x250x211 | 285х280х390 | 320х290х220 |
| Масса, кг | 7 | 9 | 15 | 7.5 |
| Основные характеристики | **В4-11** | **B4-I2** | **В4-14** | **В4-16** |
| *Измерение видеоимпульсов* Диапазон измерений, В  | 1-150 | 0,001-1 100 | 0,01-1 100 | 0,02-2 20 |
| с делителем до, В Пределы измерений, В  | 1-15; 10-150 | 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1 | 0,03; 0,1; 0,3; 1 | 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2 |
| Основная погрешность измерения, % | ± (0,2- 1,7) | ± (4-6) | ± (4-10) | ±2±-10 мВ  |
| Длительность импульсов, мкс | 0,01-25 | 0,1-300 | 0,003-100 | - |
| Длительность фронта импульсов, нс | - | Более 15 | 0,5-100 | Более 1 |
| Частота следования импульсов, кГц | Более 0,02 | 0,05-100 | 0,025-Более 0,1 |  |
| Скважность | Более 2Более 5- |  |  |  |
| Входное сопротивление, МОм,  | 33 кОм/В | 1 | 0,003 | 0,001 |
| С шунтирующей емкостью, пФ  | 1,5 | 10 | 12 | - |
| Время установления показаний, с  | 8 | 6 | 10 | 5 |
| Измерение радиоимпульсов Диапазон измерений, В | 1-150 | - | 0,01-100 | - |
| Пределы измерений, В  | 15-150 | - | 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100 | - |
| Частота заполнения, МГц | До 1000 | - | До 100 | - |
| Основная погрешность измерения, %  | ±(1-12) | - | ± (4-10) ±(1-2) мВ | - |
| Измерение синусоидального напряжения Диапазон измерений, В | 1,5-150 | 0,001-1 | 0,01-100 | - |
| Пределы измерений, В  | 15-150 | 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1 | 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100 | - |
| Диапазон частот | 20 Гц- 1000 Мгц | 0,5 Гц- 5 МГц  | До 100 МГц | - |
| Основная погрешность измерения, %  | ± (0,2-12) | ± (4-6) | ± (4-10)±2 мВ | - |
| Пределы температур, 0С  | - 30 +50-30 - +50+ 5+40+ 10+35 |  |  |  |
| относительная влажность воздуха, %, | 80 | 98 | 95 | 80 |
| При температуре, 0С  | 20 | 35 | 30 | 20 |
| Питание: напряжение, В, частотой, 50 Гц:  | 220 | 220 | 220 | 220 |
| Потребляемая мощность, В- А  | 100 | 20 | 15 | 25 |
| Габаритные размеры, мм | 630х350х340 | 242x162x253 | 360x160х260 | 366x160x260 |
| Масса, кг | 30 | 8 | 10 | 10 |

**3-4. Структурная схема аналогового электронного импульсного вольтметра, принцип работы импульсного вольтметра**

Электронный вольтметр переменного напряжения состоит из преобразователя переменного напряжения в постоянное, усилителя и магнитоэлектрического индикатора. Часто на входе вольтметра устанавливается калиброванный делитель напряжения, с помощью которого увеличивается верхний предел измеряемого напряжения. В зависимости от вида преобразования показание вольтметра может быть пропорционально амплитудному (пиковому), средневыпрямленному или среднеквадратическому значению измеряемого напряжения. Однако, шкалу **импульсных вольтметров** градуируют в амплитудных значениях, а шкалу любого другого электронного вольтметра градуируют в среднеквадратических (действующих) значениях напряжения синусоидальной формы.

**Импульсные вольтметры.** При измерении напряжения импульсной формы требуется определить высоту импульсов, т. е. значение *.* Для этой цели применяют электронные вольтметры с амплитудным преобразователем с открытым входом (см. рис. 2).

Результат измерения содержит погрешность, возникающую в связи с неполным зарядом конденсатора в течение длительности импульса  и значительным разрядом конденсатора в интервале между импульсами . Абсолютная погрешность , относительная - . Погрешность тем больше, чем больше скважность.

*Вольтметр амплитудного (пикового) значения* (рис. 1) состоит из амплитудного преобразователя *ЛПр,* усилителя постоянного тока *УПТ* и магнитоэлектрического индикатора, градуированного в вольтах. На входе вольтметра иногда предусматривается делитель напряжения *ДН.*

Амплитудный преобразователь выполняют по схеме с открытым или закрытым входом.

Амплитудный преобразователь с открытым входом (рис. 2, *а)* представляет собой последовательное соединение диода *Д* с параллельно соединенными резистором *R* и конденсатором С. Если к зажимам *I*-*2* приложено напряжение  от источника с внутренним сопротивлением , то конденсатор через диод заряжается до некоторого значения , которое приложено к электродам диода так, что он большую часть периода закрыт, т. е. работает в режиме отсечки (рис. 2, *б).* В течение каждого периода диод открывается на некоторый промежуток времени , когда , и конденсатор подзаряжается импульсом тока  до напряжения ; постоянная времени заряда *,* где  *-* сопротивление открытого диода. Затем диод закрывается и конденсатор разряжается через резистор *R* в течение интервала ; постоянная времени разряда *.*

Постоянные времени должны отвечать следующим условиям:  и , где , и  - границы частотного диапазона вольтметра. Очевидно, что  и .

Результатом амплитудного преобразования является среднее значение слабопульсирующего напряжения *,* которое в отличие от *Um* называют пиковым значением :

, (1)

где  - угол отсечки тока диода. Он равен:

 (2)

где

 (3)

- сопротивление нагрузки преобразователя с учетом входного сопротивления усилителя постоянного тока .

Для оценки *Um* и  по формуле (1) подставим в (2) и (3) практические значения сопротивлений; *R=*80 МОм, , ; сопротивлением пренебрегаем; находим , и . Таким образом, *.*

Напряжение  поступает на вход усилителя постоянного тока, входное сопротивление которого большое, а выходное - малое. *УПТ* служит для согласования выходного сопротивления преобразователя с сопротивлением индикатора и для повышения чувствительности вольтметра.

**Амплитудный преобразователь с закрытым входом** (рис. 3) представляет собой последовательное соединение конденсатора постоянной емкости С с параллельно соединенными диодом *Д* и резистором *R.* Процесс преобразования переменного напряжения в постоянное аналогичен рассмотренному выше, с тем отличием, что на зажимах *3*-*4* имеются значительные пульсации напряжения, для сглаживания, которых предусмотрен фильтр .

Процессы преобразования пульсирующего напряжения преобразователем с открытым и закрытым входом различны и зависят от полярности подключения к входным зажимам *1*-*2* постоянной составляющей пульсирующего напряжения. Если на вход амплитудного преобразователя с открытым входом включено пульсирующее напряжение так, что «+» постоянной составляющей приложен к аноду диода, то выходное напряжение , где  - постоянная составляющая,  - амплитуда положительного полупериода переменного составляющей (рис. 4, а).

Если к аноду диоду приложен «-» постоянной составляющей, то диод закрыт все время и преобразования нет. Если к аноду амплитудного напряжения с закрытым входом приложено пульсирующее напряжение, то конденсатор С заряжен постоянной составляющей  и преобразователь реагирует только на переменную составляющую: если к аноду диода приложен «+», то выходное напряжение , а если «-», то  (рис. 4, б). Это полезное свойство вольтметров с закрытым входом измерять отдельно значения напряжения положительного или отрицательного полупериодов широко используется для определения симметричности амплитудной модуляции, наличия ограничения сигналов и т. д.

Частотные свойства амплитудного преобразователя определяются его эквивалентной схемой (рис. 5, *а).* Здесь ,  и ,  - индуктивности и сопротивления проводов, соединяющих внешние зажимы *1-2 с* внутренними точками схемы 3-4; Свх - сумма всех паразитных емкостей, имеющихся на входе: между зажимами *1*-*2, 3-4,* соединительными проводами 1 - 3, 2 - 4, а также междуэлектродная емкость диода *;* - активное входное сопротивление вольтметра, нагружающее источник измеряемого напряжения.

Сопротивление  определяется в основном двумя составляющими; тепловыми () потерями в диоде *Д* и резисторе  (см. рис. 2, *а* и 3), а также потерями в диэлектрике  входной емкости . Обе составляющие действуют параллельно, и потому .
В преобразователе с открытым входом , с закрытым входом - . Известно, что потери в диэлектрике возрастают с частотой, поэтому сопротивление, эквивалентное потерям, уменьшается: , где  - угол потерь. Отсюда следует, что по мере возрастания частоты измеряемых напряжений входное сопротивление уменьшается (рис. 5, *б).* Практически на низких частотах  составляет единицы мегаом, а на высоких - десятки и даже единицы килоом.

Амплитудные (пиковые) вольтметры характеризуются невысокой чувствительностью (порог чувствительности ) и широкой полосой частот (до 1 ГГц). Если применить пиковый вольтметр с закрытым входом, то потеря постоянной составляющей импульсного напряжения вызывает погрешность и при малой скважности. Поэтому в технических характеристиках импульсных вольтметров, выполненных с амплитудным преобразованием, указаны предельные значения длительностей импульсов и их скважностей, при которых показания вольтметра содержат нормированные погрешности.

Для точных измерений импульсных напряжений преимущественно применяются ***вольтметры компенсационные*** (рис. 6, б). Здесь амплитудное значение измеряемого напряжения, заряжающее конденсатор С через диод *Д,* компенсируется (уравновешивается) постоянным образцовым напряжением  (рис. 6, в). В момент компенсации ток гальванометра равен нулю и образцовое напряжение равно . Значение *UK* образцового напряжения измеряется точным вольтметром постоянного тока.

С помощью вольтметров компенсационного типа можно также измерять амплитудное значение синусоидального напряжения и напряжение постоянного тока. Погрешность определяется чувствительностью указателя компенсации - гальванометра и точностью установки и измерения образцового напряжения. Для этой цели часто применяют цифровые вольтметры. Для измерения очень коротких импульсов разработаны более совершенные вольтметры с автокомпенсацией (рис, 7). Принцип автокомпенсации заключается в преобразовании измеряемого напряжения в компенсирующее с последующим точным измерением его значения.

Входной импульс через диод *Д* заряжает конденсатор  до значения , что обеспечивается малой постоянной времени цепи заряда  соизмеримой с длительностью импульса  (емкость конденсатора - единицы пикофарад). На конденсаторе *С2* образуется напряжение *UC2,* которое через резистор  поступает на конденсатор в качестве компенсирующего. Элементы нагрузки второго детектора и  выбираются так, чтобы их постоянная времени была много большей длительности периода следования измеряемых импульсов: *.* Конденсатор С2 в интервалах между импульсами разряжается незначительно. На вход усилителя У поступает разность напряжений ; выходное напряжение усилителя детектируется и подзаряжает конденсатор С2. Чем больше коэффициент усиления усилителя, тем ближе значение к . Напряжение  измеряется цифровым вольтметром постоянного тока *ЦВ.*

Преимущества автокомпенсационных вольтметров заключаются в отсутствии индикатора момента компенсации - гальванометра и источника образцового напряжения, а также в уменьшении погрешности измерения.

**5. Расчет делителя**

Пределы измерения выбираются кнопочным переключателем путем включения соответствующего резистора *R8* (рис.8) в цепь питания стрелочного прибора (микроамперметра).



Рис.8. Схема выбора пределов измерения.

Делитель 1:10 напряжения смешанного типа представлен на рис. 9:



Рис.9. Делитель напряжения.

Для расчета делителя напряжения 1:10 запишем соотношение для коэффициента преобразования:



,  - комплексные сопротивления ветвей с параллельными ,  и , . Для того чтобы  был частотно-независимым, надо чтобы выполнялось условие:
, если это выполнено, то получим:

.

Тогда для делителя 1:10 получим:

.

Примем , . А для емкостей получим:

. Примем , тогда 

**6. Пределы измерений**

Прибор имеет четыре предела измерения амплитуды импульсов: 2, 5, 10 и 20 В.

**7. Погрешности**

Погрешность измерения амплитуды исследуемого напряжения определяется разрядом конденсатора за период измеряемого напряжения:

,

где *Т* - период измеряемого сигнала;  - постоянная времени цепи разряда.

Относительная погрешность измерения  считая, что  получаем:  или с учетом разложения в ряд функции:

,

ограничиваясь первыми двумя членами ряда, имеем:

,

Где  - частота

Из выражения следует, что погрешность тем больше, чем ниже частота измеряемого напряжения. Основная погрешность связана с частотой следования импульсов. Дополнительная связана со скважностью импульсов и их длительностью.

**Выводы**

Используя электронную схему регистрации напряжения при помощи амплитудного преобразователя с открытым или с закрытым входом можно измерить пиковое напряжение, что позволяет измерять импульсные напряжения.

Измерение импульсных напряжений при помощи компенсационных и автокомпенсационных вольтметров позволяет достичь большей точности.