

Практическое занятие № 1

Анализ характеристик несинусоидальных напряжений с помощью электронных вольтметров типа ВЗ.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЗАНЯТИЯ

Изучение устройства и особенностей применения электронных вольтметров.

2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ

Применение электронных детекторных вольтметров для измерений различных напряжений.

Электронные детекторные вольтметры типа ВЗ предназначены для измерения синусоидального напряжения. Они являются одним из наиболее распространенных в лабораторной и инженерной практике приборов. Знание свойств и особенностей построения конкретного прибора позволяет существенно расширить область его применения. В частности, эти вольтметры можно применять и для измерений многих видов несинусоидальных периодических напряжений, для чего необходимо знать как характеристики формы измеряемого напряжения и значение его постоянной составляющей, так и характеристики используемого прибора: вид входа, тип детектора, градуировку шкалы, полосу рабочих частот.

Чаще всего интересует действующее значение напряжения, поэтому шкалы ВЗ в подавляющем большинстве проградуированы в действующих значениях синусоидального напряжения и лишь иногда – в амплитудных значениях синусоиды.

ИЗМЕРЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

При измерении синусоидального напряжения $U_1(t)$ (рис.1) отсчет α по шкале вольтметра ВЗ, проградуированного в действующих значениях синусоиды, непосредственно равен действующему значению этого напряжения $\alpha_1 = U_1$. Тогда

$$U_{1M} = 1.41 \cdot \alpha; U_{1CB} = \frac{\alpha}{1.11}$$

Если шкала вольтметра проградуирована в амплитудных значениях, то отсчет по шкале α в этом случае непосредственно равен амплитудному (максимальному) значению U_{1M} . Тогда

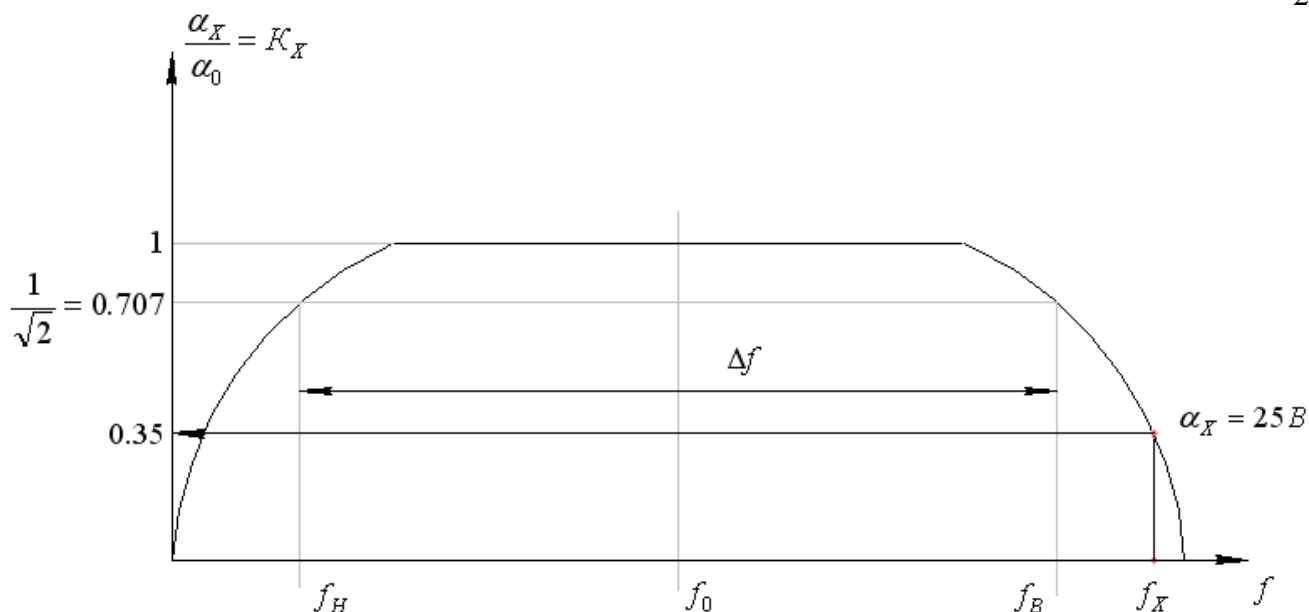
$$\alpha_1 = U_{1M}$$

Таким образом, для перевода отсчета в показание при измерении синусоидальных напряжений нет необходимости в знании схемы прибора и типа его входа. Достаточно знать градуировку шкалы.

Иногда частота измеряемого напряжения находится за пределами полосы его пропускания. В этом случае для нейтрализации частотной погрешности необходимо знать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) прибора.

Пусть, например, имеем вольтметр, АЧХ которого изображена на рисунке 1, и шкала которого проградуирована в действующих значениях синусоиды. Измеряется синусоидальное напряжение на частоте f_X . Отсчет по шкале $\alpha_X = 25B$.

Рис.1 Амплитудно-частотная характеристика



K_X - коэффициент изменения отсчета вольтметра по частоте;

α_X - отсчет по частоте измерения;

α_0 - отсчет на центральной частоте полосы пропускания вольтметра;

В нашем случае из АЧХ видно, что вольтметр «занижает» истинное значение, т.к. f_X находится на падающем участке АЧХ за пределами полосы пропускания Δf вольтметра, определяемой по стандартному уровню $K_X = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$.

Из АЧХ определяем, что на этой частоте $\frac{\alpha_X}{\alpha_0} = 0.35$.

Таким образом, из-за частотной погрешности отсчет искажает соответствие между ним и истинным значением измеряемого напряжения. Это истинное значение легко определяется с учетом K_X

$$U_X = \frac{\alpha_X}{K_X}$$

Для перевода отсчета в показание при измерениях несинусоидального напряжения необходимо знать особенности схемы вольтметра, а также особенности измеряемого напряжения.

На рис.2 показана структурная схема вольтметра с детектированием.

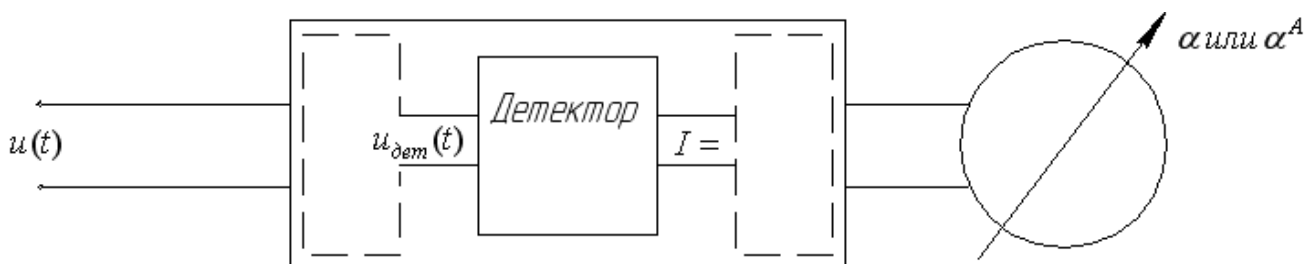


Рис.2 Структура вольтметра с детектированием.

Обозначения на схеме:

$u(t)$ - измеряемое напряжение;

$u_{\text{дем}}(t)$ - напряжение, проходящее на детектирование.

При открытом входе вольтметра

$$u_{\text{дем}}(t) = u(t)$$

При закрытом входе вольтметра

$$u_{\text{дем}}(t) = u(t) - u_0 = u'(t),$$

где u_0 - постоянная составляющая $u(t)$;

$u'(t)$ - переменная составляющая $u(t)$;

I - выходной ток детектора, которому однозначно соответствует отсчет со шкалы вольтметра;

α - отсчет по шкале, проградуированной в действующих значениях синусоиды;

α^A - в амплитудных значениях синусоиды.

1. ПЕРЕВОД ОТСЧЕТА В ПОКАЗАНИЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

1.1 Влияние характера входа вольтметра.

Если вход детектора открытый, то на детектирование (следовательно, и на измерение) проходит все входное напряжение $u_{\text{дем}}(t) = u(t)$. Если же вход детектора закрытый, то на детектирование проходит только переменная составляющая входного напряжения

$$u_{\text{дем}}(t) = u(t) - u_0 = u'(t), \quad U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (1.1)$$

и отсчет α (или α^A) зависит только от переменной составляющей, которая определяет величину выходного тока детектора.

На рис.3 показаны формы широко используемых несинусоидальных напряжений.

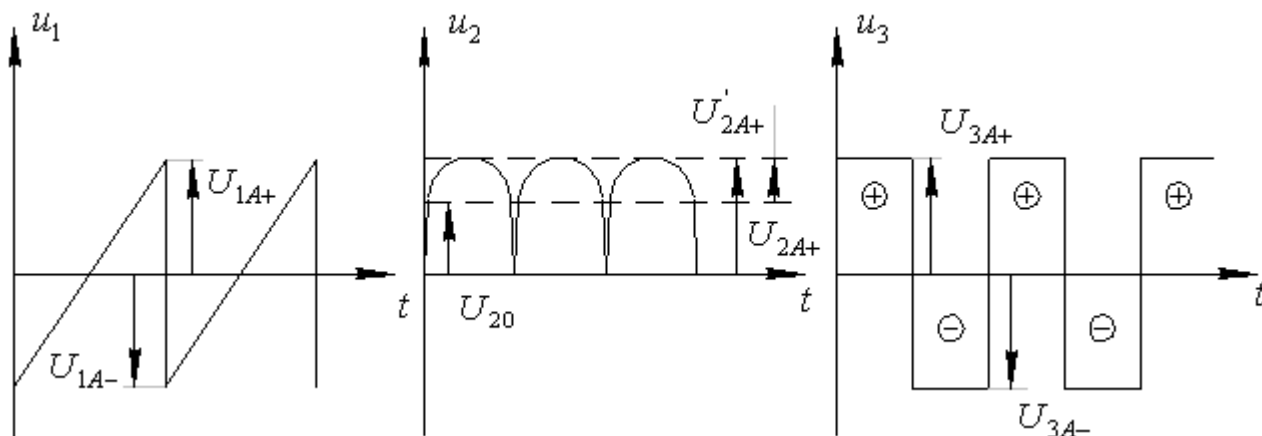


Рис.3 Примеры несинусоидальных напряжений.

Первое и третье напряжение не имеют постоянной составляющей. Постоянная составляющая второго напряжения

$$U_0 = \frac{U_{2A+}}{\sqrt{2} \cdot 1.11}.$$

На рис.4 показана переменная составляющая $u_2'(t)$, которая детектируется при закрытом входе вольтметра.

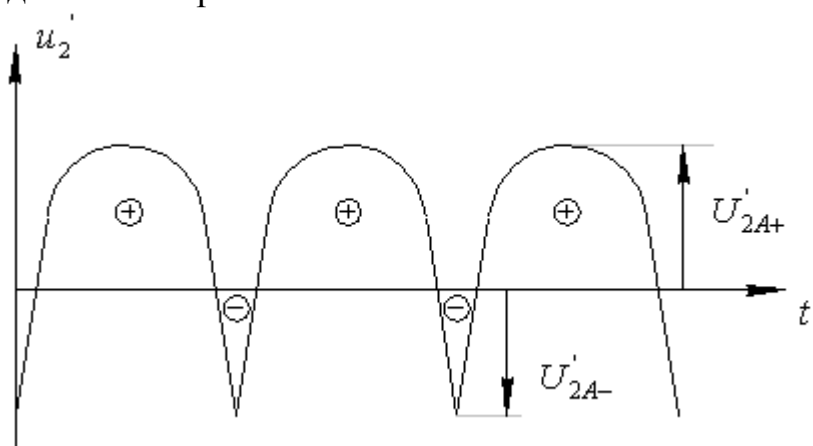


Рис.4 Напряжение $u_2(t)$ без постоянной составляющей.

Очевидно, что для получения формы переменной составляющей необходимо проделать простую операцию: перенести ось времен исходного напряжения на уровень постоянной составляющей. В нашем случае $U_{2A}' = U_{20}$. Как видно из рис.4 форма детектируемого напряжения при закрытом входе может существенно отличаться от входного напряжения вольтметра.

1.2 Влияние типа детектора.

В вольтметрах типа ВЗ в основном используется амплитудный, квадратичный и среднвыпрямляющий детекторы.

Согласно с их названиями выходной ток I каждого из детекторов однозначно определяется соответствующим значением синусоиды. Можно сказать, что вольтметр с амплитудным детектором «измеряет» положительную амплитуду, а с квадратичным и среднвыпрямляющим эффективное и среднвыпрямленное значение детектируемой синусоиды, так как отклонение указателя α (или α^A) однозначно определяется током I детектора. Возможность измерений несинусоидальных напряжений с помощью вольтметров ВЗ определяется тем, что отличие формы детектируемого колебания от синусоидальной относительно мало сказывается на величине тока I .

Поэтому с большой степенью приближения можно сказать, что независимо от формы детектируемого напряжения:

1. Вольтметр с амплитудным детектором измеряет положительную амплитуду детектируемого напряжения.
2. Вольтметр с квадратичным детектором измеряет эффективное значение детектируемого напряжения.
3. Вольтметр со среднвыпрямленным детектором измеряет среднвыпрямленное значение детектируемого напряжения.

2. ВЛИЯНИЕ ГРАДУИРОВКИ. ПЕРЕВОД ОТСЧЕТОВ В ПОКАЗАТЕЛИ

Обычно шкалы (указатели) ВЗ градуируются в действующих значениях синусоиды и реже в амплитудных (максимальных).

Имея отсчет с указателя вольтметра, можно сразу найти то значение детектируемого напряжения, которое «измеряет» детектор:

1. Для вольтметра с амплитудным детектором по отсчету α или α^A имеем положительное амплитудное значение

$$U_{\text{дем}A+} = \sqrt{2} \cdot \alpha \text{ или } U_{\text{дем}A+} = \alpha^A \quad (2.1)$$

2. для вольтметра с квадратичным детектором имеем действующее значение

$$U_{\text{дем}} = \alpha \text{ или } U_{\text{дем}} = \frac{\alpha^A}{\sqrt{2}} \quad (2.2)$$

3. Для вольтметра со среднвыпрямляющим детектором имеем среднвыпрямленное значение

$$U_{\text{CBдем}} = \frac{\alpha}{1.11} \text{ или } U_{\text{CBдем}} = \frac{\alpha^A}{\sqrt{2} \cdot 1.11} \quad (2.3)$$

Определение иных значений продетектированного напряжения возможно, если известны коэффициенты амплитуды $K_{a\text{дем}}$ и формы $K_{\phi\text{дем}}$ этого напряжения по известным соотношениям

$$K_a = \frac{U}{U_A} \text{ или } K_{\phi} = \frac{U}{U_{\text{CB}}} \quad (2.4)$$

Эта часть задачи дополнительно усложняется, если вход вольтметра (детектора) закрытый, а измеряемое напряжение имеет постоянную составляющую U_0 , которая не проходит на детектирование из-за закрытого входа и $u_{\text{дем}}(t) = u'(t)$.

Очевидно, что в этом случае:

При амплитудном детекторе

$$U_{A+} = U'_{A+} + U_0 \quad (2.5)$$

При квадратичном детекторе

$$U = \sqrt{U_0^2 + (U')^2} \quad (2.6)$$

где U_{A+} и U - значения входного напряжения вольтметра.

При среднвыпрямляющем детекторе общие выражения вида (2.5), (2.6) привести затруднительно, так как этот детектор дополнительно преобразует форму переменной составляющей, меняя полярность отрицательных частей периода, как показано на рис.4 пунктиром.

Значение U_0 определяется различными вспомогательными методами, в том числе аналитическими.

Значения $K_{\phi\text{дем}}$ и $K_{a\text{дем}}$ можно найти в справочной литературе по несинусоидальным токам. Если в распоряжении экспериментатора имеются вольтметры с детекторами всех перечисленных типов, то $K_{\phi\text{дем}}$ и $K_{a\text{дем}}$ можно определить,

поочередно измерив ими одно и то же значение напряжения $u(t)$ и применив выражения (2.1 - 2.4).

Для облегчения перевода отсчета α или α^A в показания можно воспользоваться таблицами на рис.5а и 5б, в которых в сжатой форме представлено изложенное выше.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТАБЛИЦЫ

Пусть измеряется напряжение, содержащее постоянную составляющую. В распоряжении экспериментатора имеется вольтметр с амплитудным детектором и закрытым входом. Шкала вольтметра проградуирована в действующих значениях синусоиды и по шкале получен отсчет

$$\alpha_{AДЗ} = 10 \text{ В}$$

Требуется определить действующее значение входного напряжения вольтметра. Как видно из условий задачи используется половина таблицы.

Непосредственно, по отсчету определяем положительный выброс U_{A+} измеряемого напряжения над постоянной составляющей

$$U'_{A+} = \sqrt{2} \cdot \alpha_{AДЗ}$$

Затем с учетом постоянной составляющей измеряемого напряжения находится амплитудное значение всего измеряемого напряжения

$$U_A = U'_{A+} + U_0$$

U_0 - определяется либо расчетом по формуле

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

либо каким-то другим способом (например, вспомогательным измерением с помощью магнитоэлектрического вольтметра).

По найденному амплитудному значению U_A из соотношения $K_a = \frac{U}{U_A}$ находится интересующее нас действующее значение измеряемого напряжения.

Коэффициенты амплитуды и формы измеряемых напряжений можно получить разным путем.

Например, для наиболее распространенных напряжений эти коэффициенты можно найти в справочной литературе по несинусоидальным токам.

На рис.6 приведены характеристики некоторых из них.

Если в справочнике нет необходимой кривой, нужные коэффициенты рассчитываются исходя из их определений

$$K_a = \frac{U}{U_A}$$

$$K_\phi = \frac{U}{U_{CB}}.$$

Порядок перевода отсчета в показания.

Напряжение без постоянной составляющей.

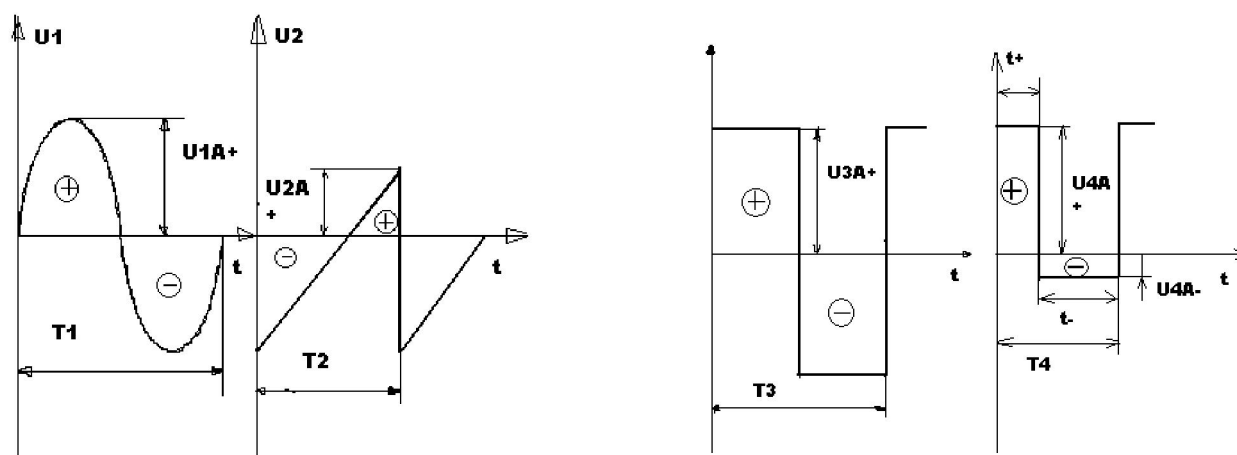


Рис. 4а

Напряжение с постоянной составляющей.

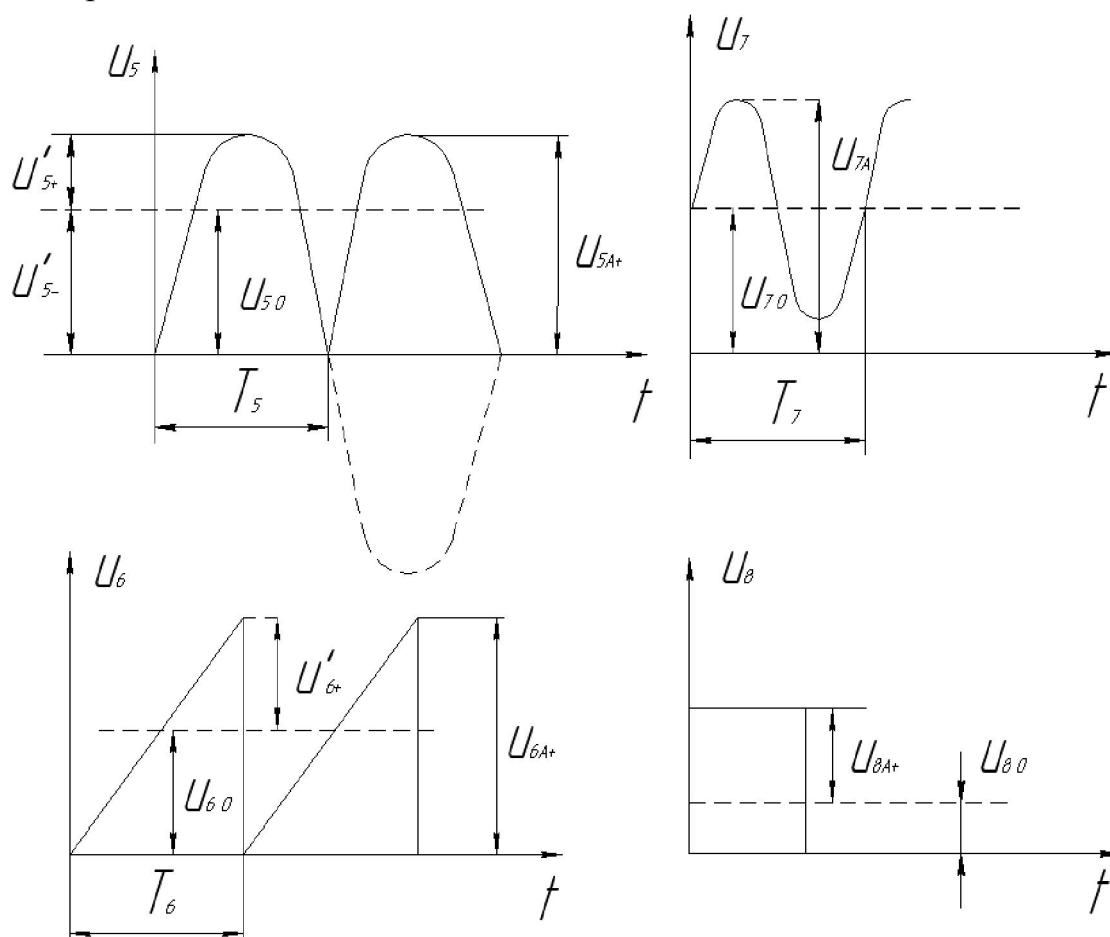


Рис. 4б

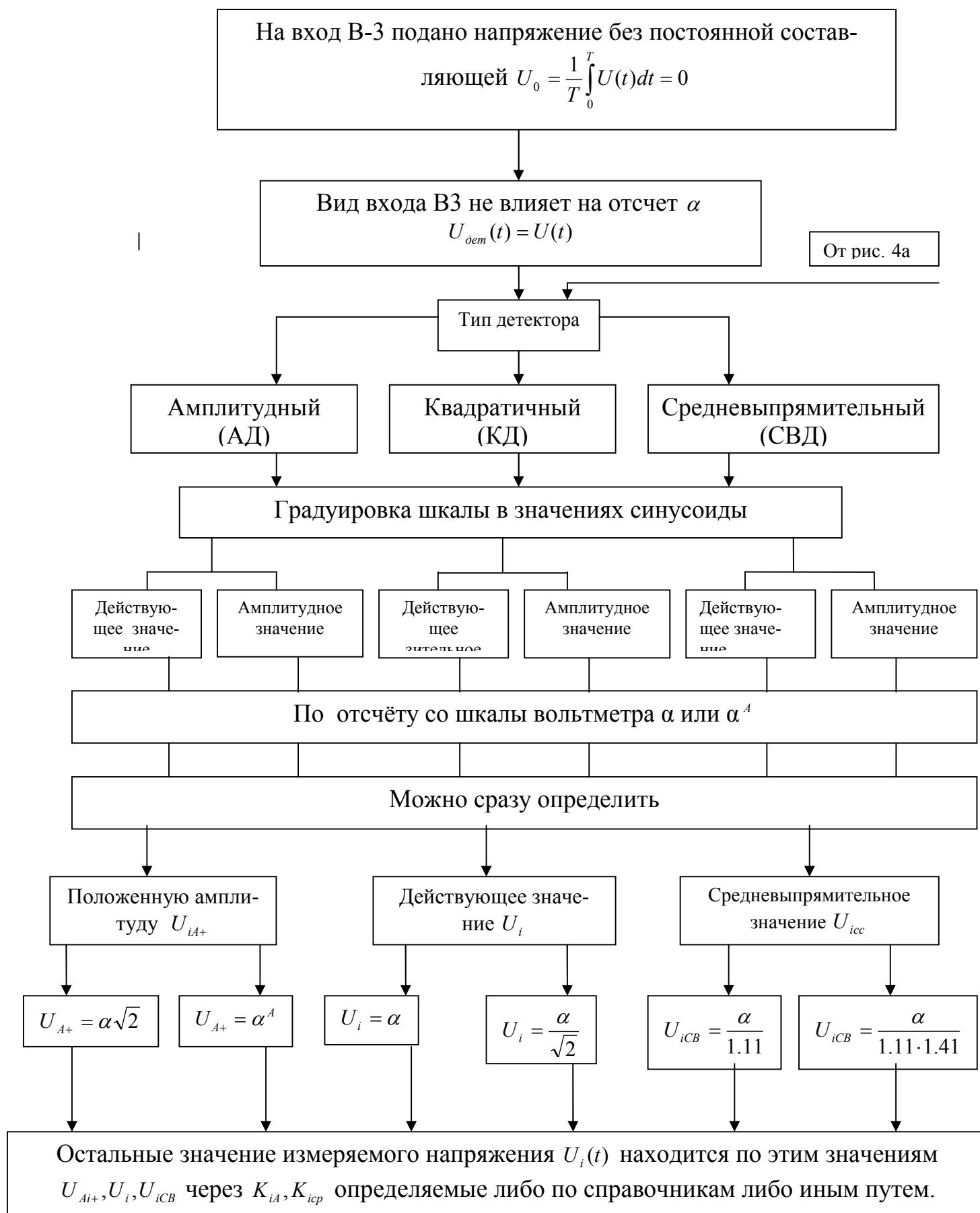


Рис.5а

Порядок перевода отсчета в показания.
 Напряжение без постоянной составляющей.

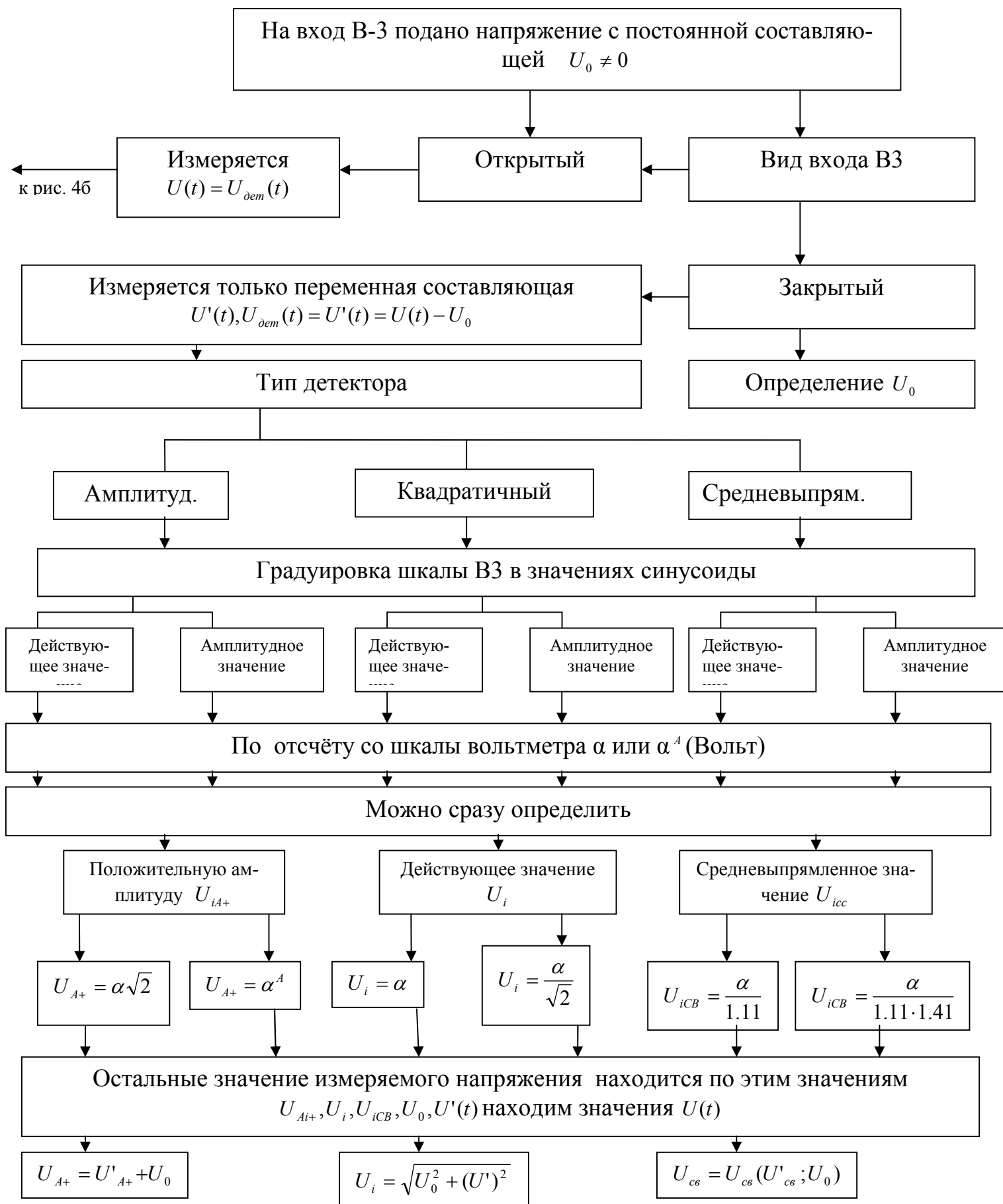


Рис.5б

Где U – действующее значение измеряемого напряжения $u(t)$

При этом:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

$$U_{\text{св}} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt$$

И где $U(t)$ - измеряемое напряжение (т.е. форма измеряемого напряжения).

Возможны и другие пути определения коэффициентов амплитуды и формы.

Наибольшие сложности возникают при использовании вольтметров со среднечисловым детектором и закрытым входом для измерения несинусоидальных напряжений с постоянной составляющей.

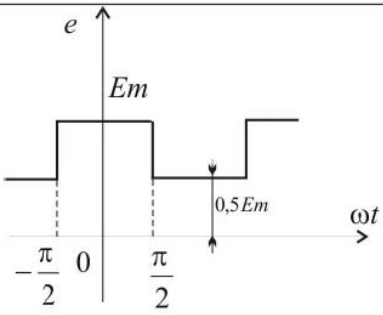
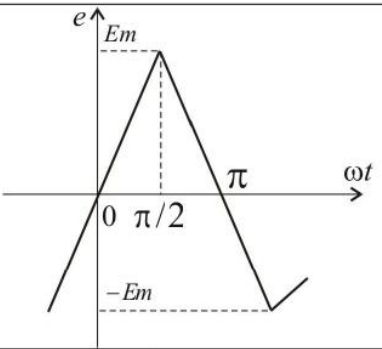
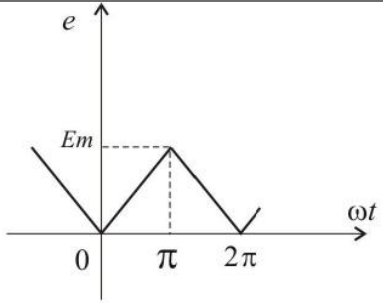
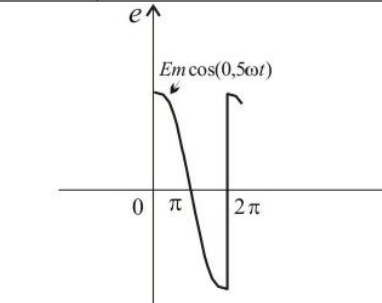
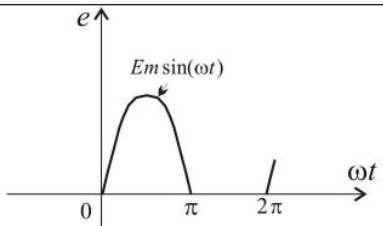
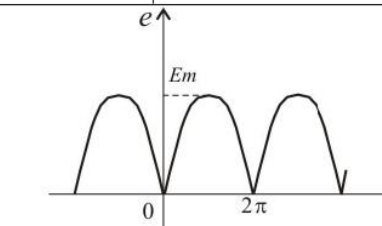
3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

По литературе ознакомиться с устройством и методикой применения электронных детекторных вольтметров для измерения различных напряжений.

4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

Задание на самостоятельную работу. В соответствии с вариантом задания из таблицы 1 аналитически рассчитать для напряжения несинусоидальной формы сигнала следующие параметры: U_0 , U_A , U , $U_{\text{св}}$, K_a , K_ϕ .

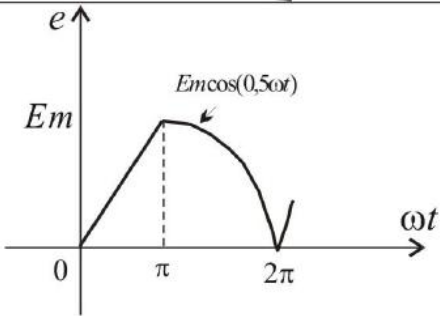
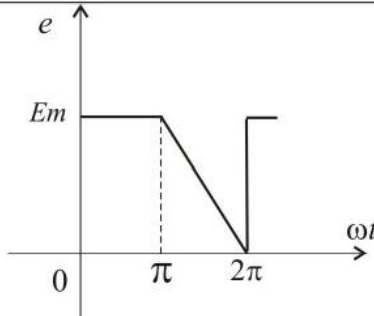
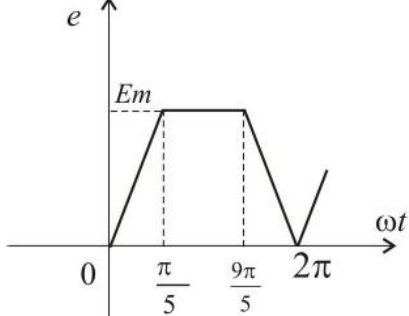
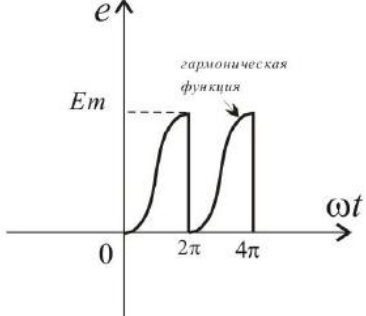
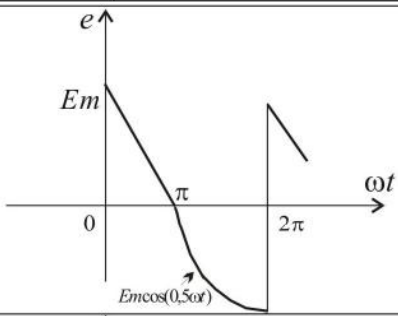
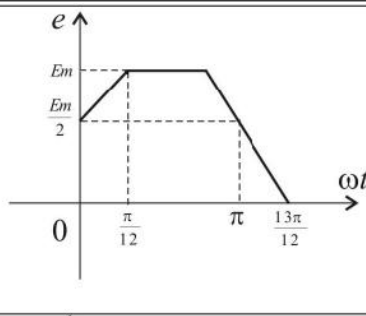
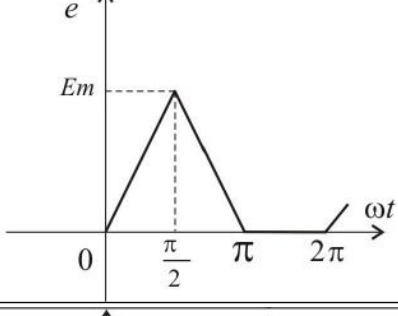
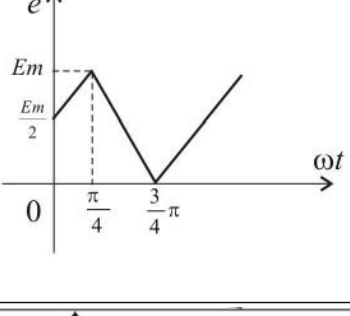
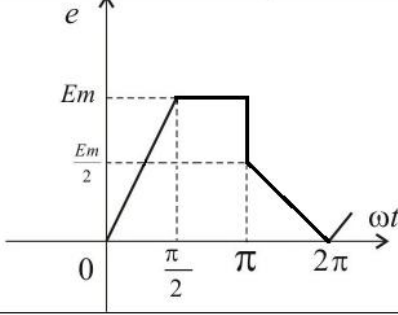
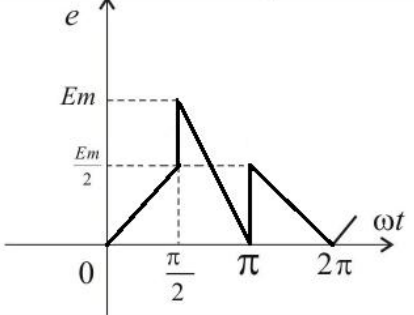
Таблица 1.

Вариант	$e(t)$	Вариант	$e(t)$
1		2	
3		4	
5		6	

Продолжение таблицы 1.

Вариант	$e(t)$	Вариант	$e(t)$
7		8	
9		10	
11		12	
13		14	
15		16	

Продолжение таблицы 1.

Вариант	$e(t)$	Вариант	$e(t)$
17		18	
19		20	
21		22	
23		24	
25		26	

* $E_m=100\text{В}$.

Содержание отчета.

1. Принципиальные схемы детекторов трех типов.
2. Подробное решение задания на самостоятельную работу с приведением расчетов по требуемым параметрам (U_0 , U_A , U , $U_{св}$, K_a , K_ϕ).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Общие сведения об измеренных напряжениях. Классификация электронных вольтметров по ГОСТ.
2. Структурная схема и принцип действия электронных аналоговых вольтметров.
3. Детекторы вольтметров. Их особенности и свойства.
4. Зависимость отсчетов со шкальных устройств вольтметров от формы кривой измеряемого вольтметра.
5. Техника измерения напряжения
 - а) Выбор вольтметра по его основным характеристикам. Подключение приборов к контролируемой цепи.
 - б) Снятие отсчетов и перевод их в показания. Примеры переводов отсчетов.
6. Поясните порядок проведения и результаты эксперимента (по заданию преподавателя).

Приложение 1.

Пример выполнения задания на самостоятельную работу.

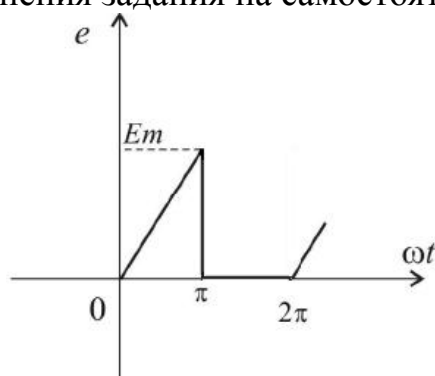


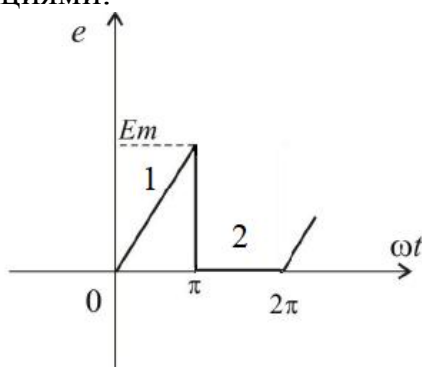
рис.1.1

Для данного вида несинусоидального напряжения требуется определить постоянную составляющую U_0 по формуле (1.1):

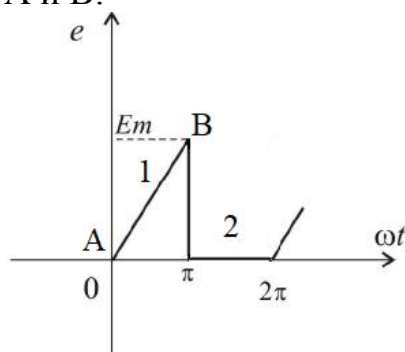
$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt,$$

где $T = 2\pi$.

Исходное несинусоидальное напряжение (рис.1.1) описывается кусочно-заданной функцией. Выделим участки, на которых данная функция может быть описана элементарными функциями:



На участке 1 исходная кусочно-заданная функция описывается уравнением прямой $y = kx + b$. Данное уравнение прямой может быть получено по двум известным точкам, например, А и В:



Вычислим координаты точек А и В:

А(0;0), В(π;Em).

Подставим данные координаты в обобщенное уравнение прямой $y = kx + b$, в результате получим систему уравнений:

$$\begin{cases} A: 0 = k \cdot 0 + b \\ B: E_m = k \cdot \pi + b \end{cases}$$

Решим данную систему относительно параметров k и b :

$$\begin{cases} b = 0 \\ k = \frac{E_m}{\pi} \end{cases}$$

Таким образом, получили уравнение прямой на участке 1 в системе координат $\omega t, e(\omega t)$:

$$e(\omega t) = \frac{E_m}{\pi} \omega t, \quad 0 < \omega t \leq \pi \quad (1)$$

Уравнение прямой на участке 2 запишется следующим образом:

$$e(\omega t) = 0, \quad \pi < \omega t \leq 2\pi \quad (2)$$

Запишем кусочно-заданную функцию аналитически, используя равенства (1) и (2):

$$e(\omega t) = \begin{cases} \frac{E_m}{\pi} \omega t, & 0 < \omega t \leq \pi \\ 0, & \pi < \omega t \leq 2\pi \end{cases} \quad (3)$$

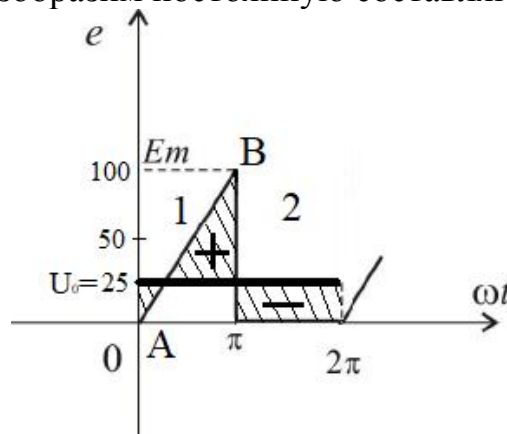
Рассчитаем постоянную составляющую U_0 по формуле (1.1). Для этого необходимо проинтегрировать кусочно-заданную функцию (3) в пределах от 0 до 2π :

$$\int_0^{2\pi} e(\omega t) d(\omega t) = \int_0^{\pi} \frac{E_m}{\pi} \omega t d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 0 d(\omega t) = \frac{E_m}{\pi} \frac{(\omega t)^2}{2} \Big|_0^{\pi} + 0 \Big|_{\pi}^{2\pi} = \frac{E_m}{\pi} \frac{\pi^2}{2} = \frac{E_m \cdot \pi}{2} \quad (4)$$

Подставим данное значение в формулу (1.1):

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{E_m \cdot \pi}{2} = \frac{E_m}{4} = \frac{100 \text{ В}}{4} = 25 \text{ В}$$

Таким образом, постоянная составляющая несинусоидального напряжения на рис.1.1 равна 25 В. Изобразим постоянную составляющую на рис.1.1:



Площадь фигуры (+), расположенной выше прямой $U_0 = 25 \text{ В}$ равна суммарной площади фигур (-), расположенных ниже прямой $U_0 = 25 \text{ В}$.