

МЕТРОЛОГИЯ И ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Лекция 17. Преобразователи значений величин

Основные разновидности преобразований

По характеру преобразования различают:

- преобразователи средневыпрямленных значений;
- преобразователи среднеквадратических значений;
- преобразователи пиковых значений.

По типу используемых преобразовательных элементов наибольшее применение находят:

- полупроводниковые преобразователи;
- термоэлектрические преобразователи.

С точки зрения влияния на схему постоянной составляющей сигнала различают:

- преобразователи с открытым входом;
- преобразователи с закрытым входом.

Преобразователи средневых значений

Преобразователи средневых значений (линейные) выполняют функцию преобразования переменного напряжения в постоянное, пропорциональное средневых значению. Они осуществляют трансформацию мгновенных значений $u(t)$ в модуль $|u(t)|$.

Преобразователи средневых значений работают по схемам двухполупериодного или однополупериодного выпрямления.

В качестве выпрямительных элементов используют полупроводниковые (германиевые или кремниевые) диоды. Выпрямляющее действие таких диодов определяется коэффициентом выпрямления

$$K_e = I_{np} / I_{об} = R_{сб} / R_{np}$$

где I_{np} и $I_{об}$ – прямой и обратный токи; R_{np} и $R_{сб}$ – прямое и обратное сопротивления диода.

Порядок коэффициентов выпрямления $10^3 \dots 10^5$.

Двухполупериодный преобразователь средневыпрямленного значения

Принцип работы. При положительной полуволне измеряемого напряжения $U_x(t)$ прямой ток проходит через диод D_3 , резистор R_H и диод D_2 . Если считать диоды одинаковыми и пренебречь обратным током, то можно записать

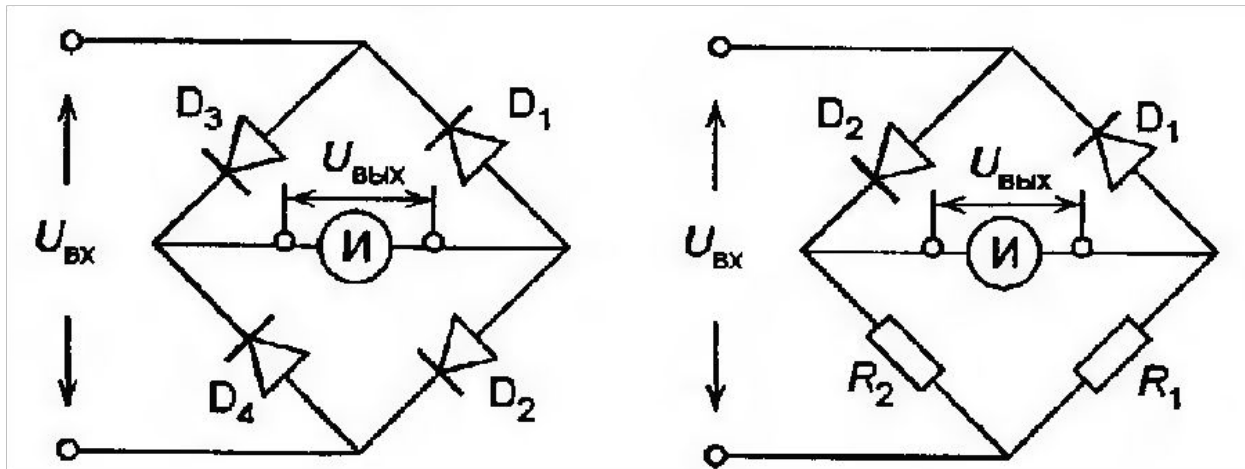
$$I_{np} = U_{вх} / (2R_{np} + R_n)$$

При отрицательной полуволне измеряемого напряжения $U_x(t)$ прямой ток проходит через D_4 , R_n , D_1 .

С резистора R_n снимается выходное напряжение

$$U_{вых} = R_n I_{np}$$

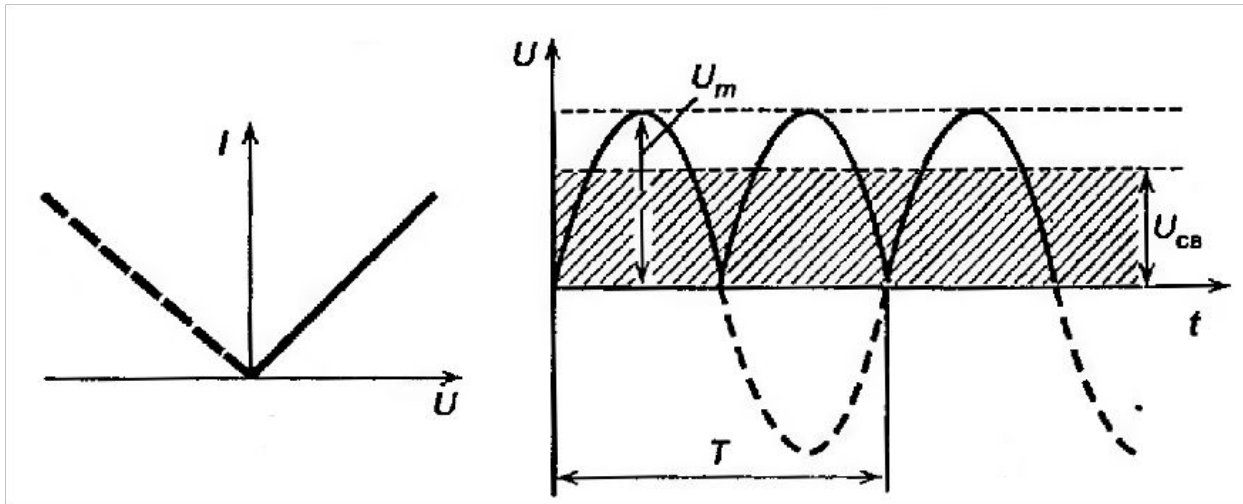
Таким образом, измеряемое напряжение пропорционально средневыпрямленному току, т.е. происходит трансформация $u(t)$ в модуль $|u(t)|$.



Двухполупериодный преобразователь средневыпрямленного значения

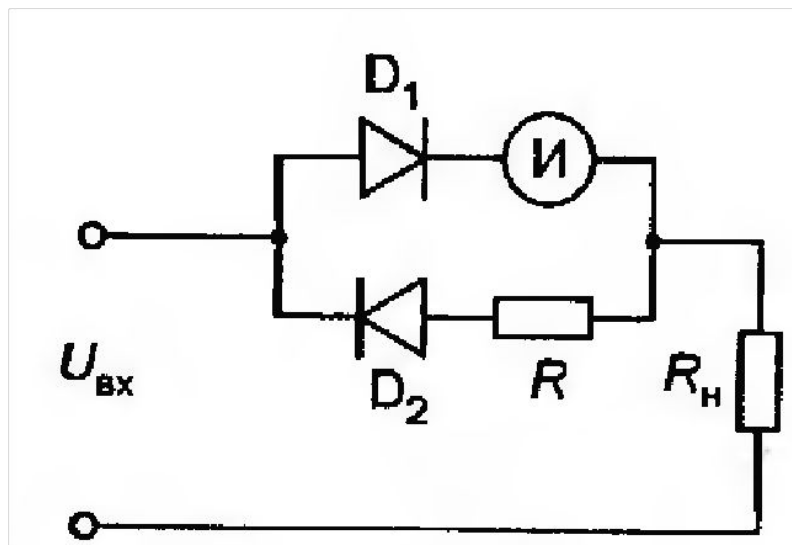
В общем случае вольт-амперные характеристики используемых в схеме диодов не строго линейны, т.е. нелинейно R_{np} , и $U_{вых}$ будет нелинейно связано с измеряемым напряжением, следовательно, преобразователь будет выполнять операции нахождения модуля $U_x(t)$ с погрешностями. Для линейризации рассматриваемого преобразователя сопротивление R_n выбирают из условия $R_n \gg R_{np}$, тогда прямой ток можно считать линейно зависящим от $U_{сх}$. Но с увеличением R_n снижается чувствительность преобразователя, т.е. чем больше R_n , тем меньше $U_{вых}$ при том же $U_{сх}$.

На практике часто используют также преобразователи, собранные по схеме с двумя диодами. При положительном полупериоде ток проходит через D_2 и R_2 , а при отрицательном полупериоде – через D_1 и R_1 , т.е. роль нагрузочного сопротивления выполняют резисторы R_1 и R_2 .



Однополупериодный преобразователь средневыпрямленного значения

В измерительных приборах кроме рассмотренных преобразователей, собранных по схеме двухполупериодного выпрямления, используют также преобразователи однополупериодного выпрямления. В данном случае ток через измерительный прибор протекает только в течение одного полупериода измеряемого напряжения.

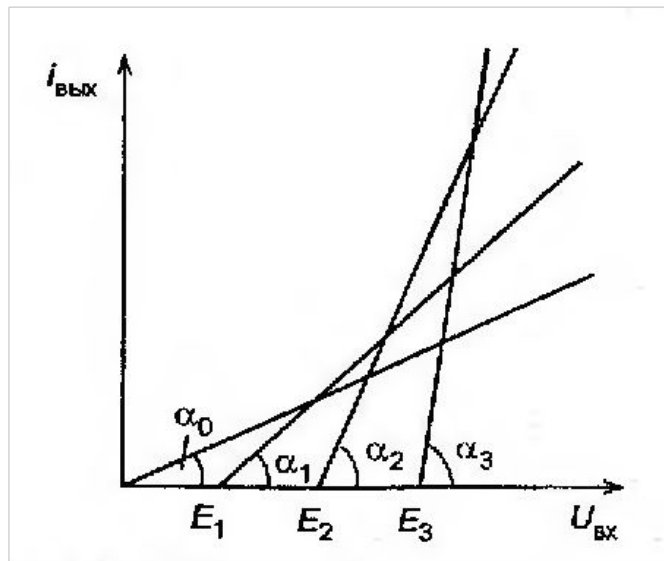


Преобразователи среднеквадратичного значения

Преобразователи среднеквадратических значений (квадратичные) выполняют операцию квадратурования измеряемого напряжения (операцию возведения в квадрат). Такую операцию могут выполнять детекторы, обладающие квадратичной вольт-амперной характеристикой. В современных вольтметрах операция квадратурования обычно осуществляется с помощью диодных аппроксиматоров и термоэлектрических преобразователей.

Диодные аппроксиматоры обычно выполняют на диодных цепочках, обеспечивающих с достаточной степенью приближения формирование параболы. Ветвь параболы ($i = bu^2$) аппроксимируется ломаной линией. Для получения такой аппроксимации необходимо иметь набор элементов, обладающих следующими свойствами:

- характеристики элементов должны быть линейны;
- наклоном этих характеристик можно управлять;
- характеристики должны начинаться с определенного значения E .

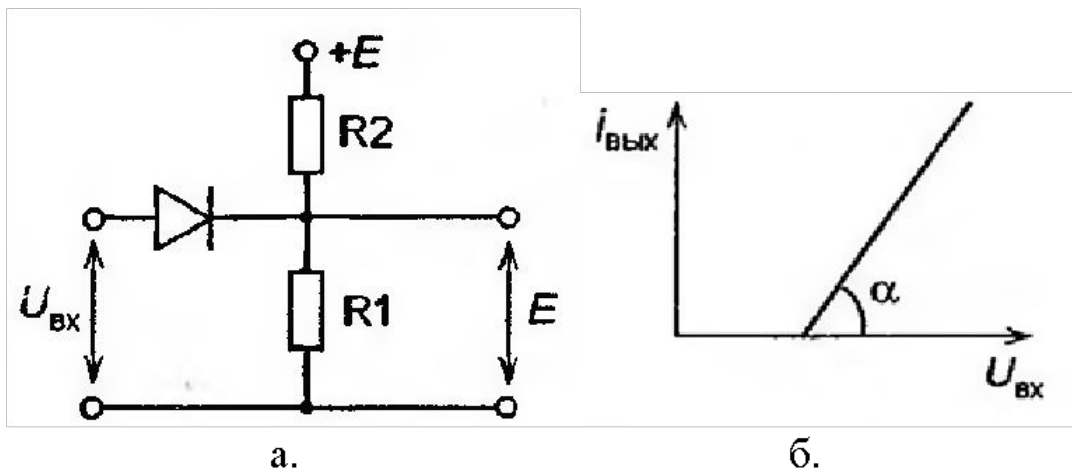


Преобразователи среднеквадратичного значения

Этим требованиям удовлетворяют элементы в виде диода и двух резисторов.

Линейность характеристики в таких ячейках обеспечивается подбором сопротивлений резистора R_1 и прямого сопротивления диода так, что $R_1 \gg R_{np}$; наклон характеристики (угол α_1) зависит от величины R_1 ; начало характеристики определяется смещением E , поданным на диод с делителя $R_1 - R_2$:

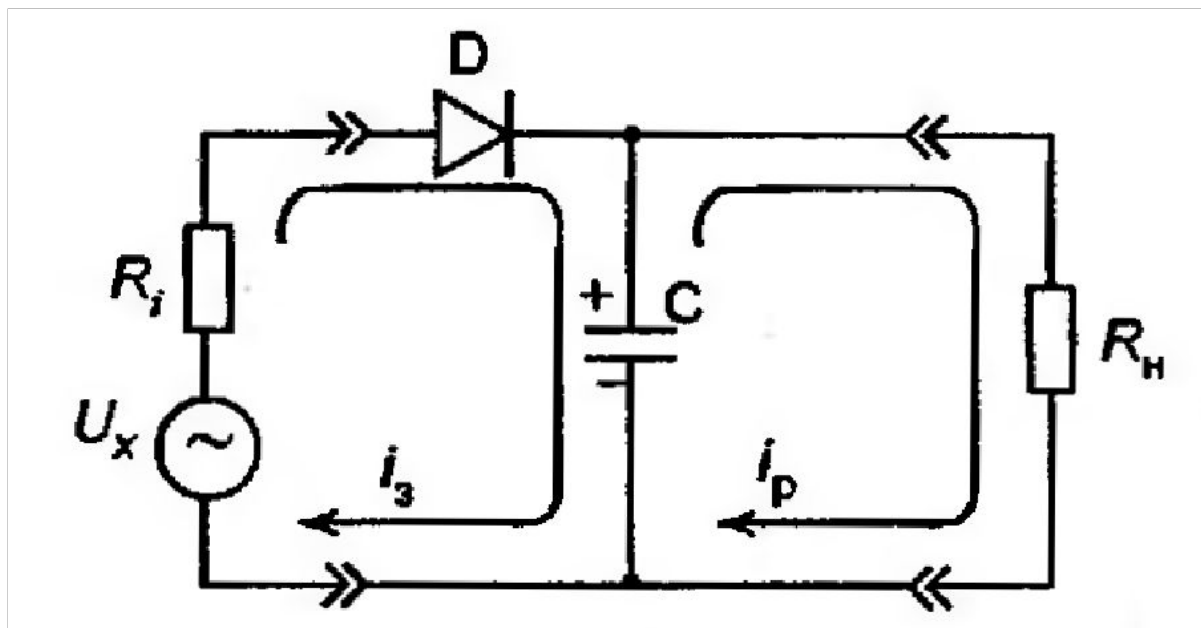
$$E = \frac{ER_2}{(R_1 + R_2)}$$



Чем больше рассмотренных ячеек включено в общую схему аппроксиматора, тем выше качество приближения ломаной линии к параболе.

Преобразователи пиковых значений

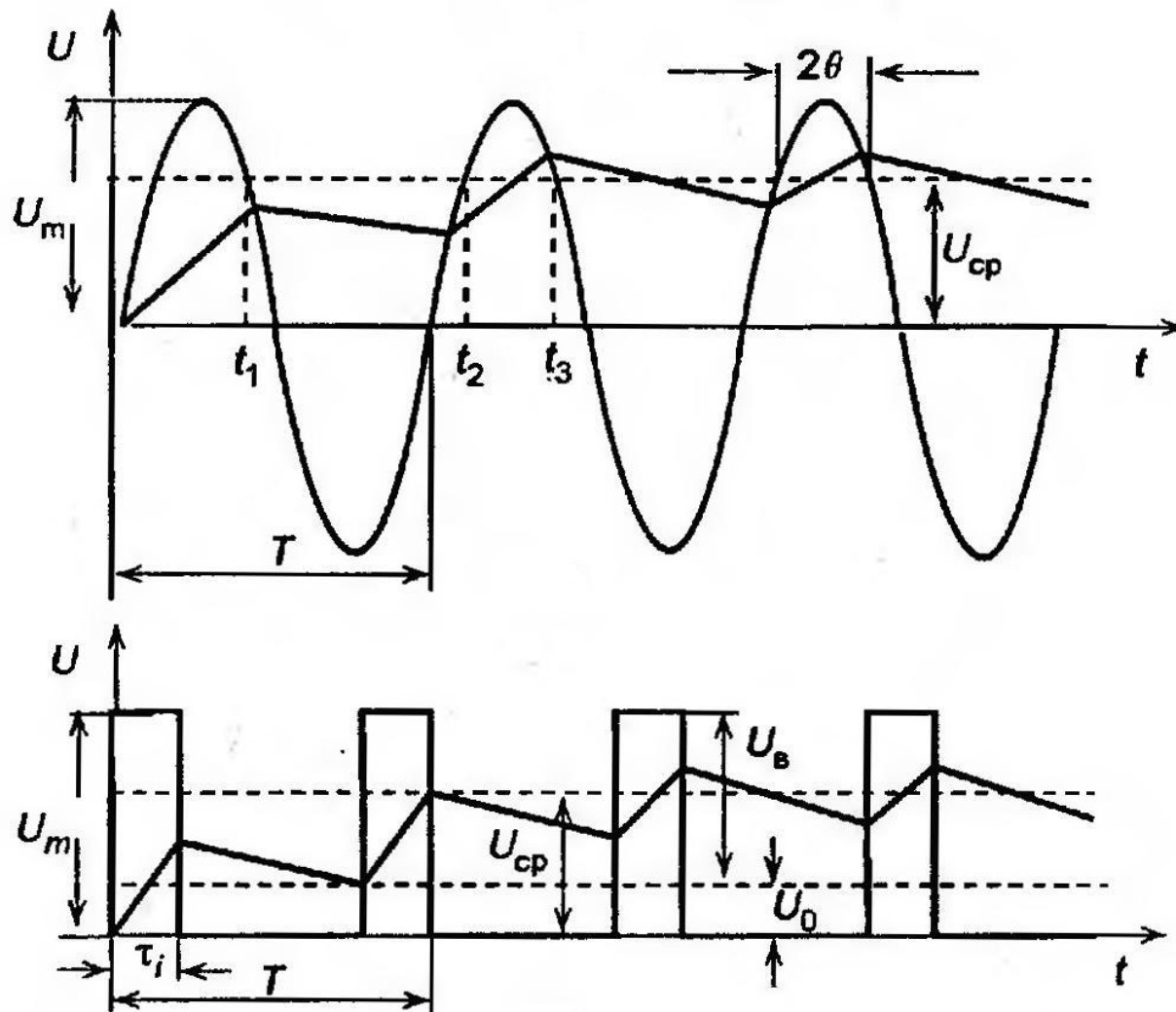
Преобразователи пиковых значений должны обеспечивать напряжение на своем выходе в соответствии с пиковым значением преобразуемого сигнала. Для такого преобразования необходимы элементы памяти, запоминающие пиковое значение напряжения. Таким элементом обычно служит конденсатор, заряжаемый через диод до пикового значения. В зависимости от места включения конденсатора различают пиковые детекторы с открытым и закрытым входами.



Преобразователи пиковых значений

Если на амплитудный детектор с открытым входом подается синусоидальное напряжение $U_x = U_m \sin \omega t$, то конденсатор C заряжается в полярности по цепи: источник напряжения с внутренним сопротивлением $R_i \rightarrow$ открытый диод с сопротивлением $R_D \rightarrow$ конденсатор \rightarrow источник напряжения. Постоянная времени заряда конденсатора $\tau_s = (R_i + R_D)C$. Если постоянная времени τ_s мала и меньше периода исследуемого сигнала ($T_s < T$), то в момент t_s диод будет закрыт напряжением быстро зарядившегося конденсатора. Затем конденсатор начнет разряжаться по цепи: верхняя обкладка конденсатора \rightarrow резистор $R_n \rightarrow$ нижняя обкладка конденсатора. Постоянная времени разряда $\tau_p = CR > T$. Параметры схемы подбираются так, чтобы $\tau_p \gg \tau_s$, т.е. чтобы за время отрицательной полуволны разряд конденсатора был незначительным. Очередной заряд конденсатора при следующей положительной полуволне начнется в момент t_2 , когда измеряемое напряжение U_x станет больше напряжения на C . Через несколько периодов быстрого заряда и медленного разряда конденсатора на нем установится постоянное среднее напряжение U_{cp} , почти равное амплитуде U_m . В установившемся режиме $U_{cp} \approx U_m$, т.е. среднее значение на конденсаторе поддерживается близким к амплитудному значению измеряемого напряжения. Однако U_{cp} всегда отличается от U_m на некоторую величину, и на интервале (t_2, t_3) через диод проходят маленькие импульсы тока, пополняющие заряд конденсатора.

Преобразователи пиковых значений



Преобразователи пиковых значений

Часть периода синусоидального сигнала на интервале (t_2, t_3) , т.е. когда ток проходит через диод, оценивается углом отсечки θ . Напряжение U_{cp} тем ближе к U_m , чем меньше угол отсечки:

$$U_{cp} = U_m \cos \theta .$$

В теории идеального детектора устанавливается зависимость между углом отсечки и параметрами схемы:

$$\theta = \sqrt[3]{3\pi \frac{R_d + R}{R_n}}$$

Равенство $U_{cp} = U_m$, достигаемое при $\theta = 0$, никогда не может быть реализовано, так как $R_d \neq 0$ и $R_n \neq \infty$.

Методическая погрешность преобразования $\Delta = U_{cp} - U_m$ будет тем меньше, чем меньше $(R_d + R)$ и больше R_n . В реальных условиях значения указанных сопротивлений, а также емкость C выбирают из компромиссных условий. Чрезмерное увеличение R_n приводит к чрезмерному увеличению τ_p и, как следствие, к повышению инерционности схемы, т.е. при уменьшении напряжения на входе напряжение на конденсаторе долго остается неизменным (до нескольких секунд). Недопустимо также использовать конденсатор C очень большой емкости, так как это приводит к возрастанию τ_s и τ_p .

Преобразователи пиковых значений

Если измеряемое напряжение $U_x = U_0 + U_m \sin \omega t$, т.е. имеется постоянная составляющая U_0 , то она также через диод поступит в цепь заряда конденсатора, который зарядится до напряжения

$$U_c \approx U_0 + U_m,$$

где U_m – амплитуда полупериода переменной составляющей.

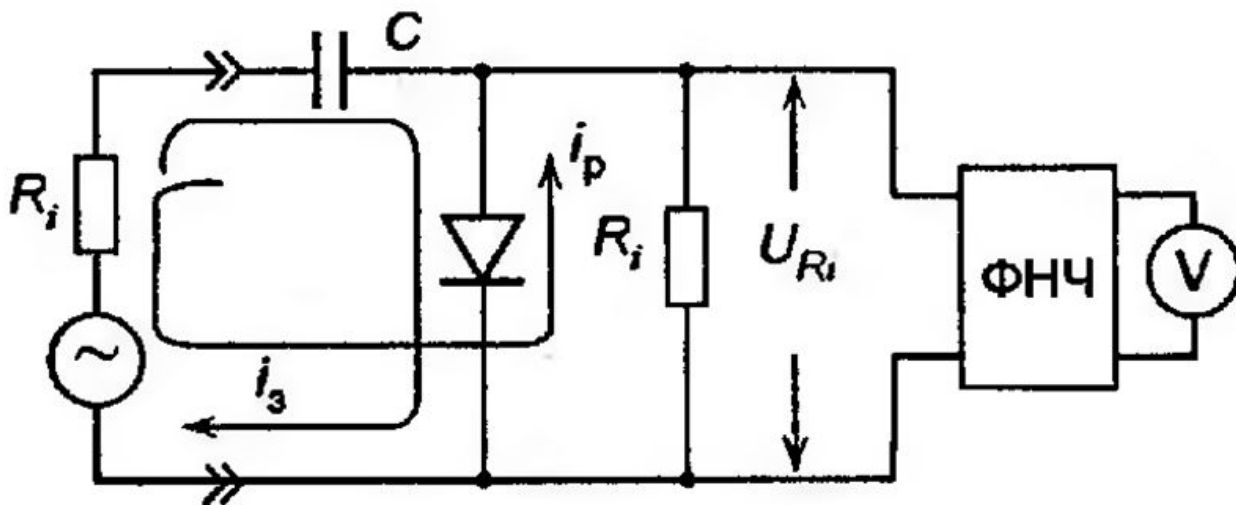
Если на вход рассматриваемого преобразователя с открытым входом подать импульсное напряжение (например, периодическую последовательность прямоугольных импульсов), то и в этом случае $U_c \approx U_m$, если длительность импульса $\tau_u > \tau_s$ и $\tau_u < \tau_p$. Если период следования импульсов будет большим и за время пауз между импульсами конденсатор успеет значительно разрядиться, то установившееся среднее значение на конденсаторе U_{cp} будет еще больше отличаться от U_m , т.е. появится дополнительная погрешность. Эта погрешность будет проявляться тем сильнее, чем больше скважность последовательности импульсов, определяемая отношением периода следования импульсов (T_u) к их длительности (τ):

$$Q = \frac{T_u}{\tau}.$$

Таким образом, показания вольтметра с открытым входом будут соответствовать максимальному значению суммарного приложенного напряжения, что для прибора с пиковым детектором следует рассматривать как недостаток.

Преобразователи пиковых значений

В схемах пиковых детекторов с закрытым входом диод подключен параллельно резистору нагрузки R_n . При подаче на вход гармонического напряжения $U_x = U_m \sin \omega t$ физический процесс выпрямления здесь такой же, как в схемах с открытым входом, имеется лишь некоторое различие в цепях заряда и разряда конденсатора. Если пренебречь шунтирующим действием фильтра, т.е. считать, что входное сопротивление ФНЧ много больше сопротивления резистора R_n , то постоянная времени заряда конденсатора $\tau_s = (R_i + R_D)$, а постоянная разряда $\tau_p = C_i(R + R)$.



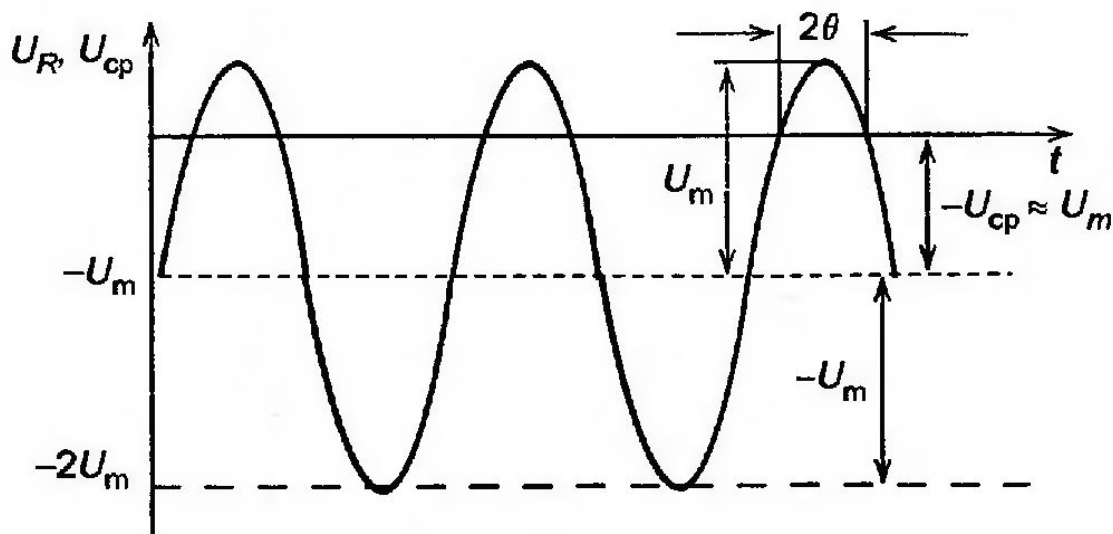
Преобразователи пиковых значений

При соблюдении условий $\tau_s < T$ и $\tau_p \gg T$, как и в схеме с открытым входом, в установившемся режиме среднее значение напряжения на конденсаторе U_{cp} приблизительно равно максимальному значению входного напряжения U_m .

Основное отличие данной схемы от схемы с открытым входом состоит в том, что выходное напряжение U_{R_n} детектора определяется как результат взаимодействия входного напряжения и напряжения на конденсаторе:

$$U_{R_n} = U_m \sin \omega t - U_{cp}$$

Это напряжение изменяется почти от 0 до $-2U_m$ т.е. является пульсирующим. Для устранения этого негативного явления используют ФНЧ, пропускающий только постоянную составляющую U_c пульсирующего напряжения, следовательно, прибор измеряет напряжение $U_c \approx U_m$.



Термоэлектрические преобразователи

Термоэлектрические преобразователи. Действие термоэлектрических преобразователей основано на свойствах термопреобразующих элементов.

Практическое применение находят преобразователи на термопарах и терморезисторах. Преобразователь на термопарах представляет собой нагреватель, по которому протекает измеряемый ток, и связанную с ним термопару. К свободным концам термопары обычно подключается магнитоэлектрический измеритель.

Принцип действия преобразователя основан на возникновении термоЭДС в месте соединения двух разнородных проводников при их нагреве. Возникающая на свободных концах термопары термоЭДС пропорциональна разности температур:

$$E_T = \alpha(T_1 - T_2),$$

где α – коэффициент пропорциональности, зависящий от материала и конструкции термопары; T_1, T_2 – температура в месте соединения термопары с нагревателем и в свободном пространстве соответственно. В установившемся состоянии T_1 постоянна и определяется рассеиваемой на нагревателе мощностью. Следовательно, справедливо равенство

$$I^2 R_n = k(T_1 - T_2)$$

где k – коэффициент теплоотдачи. Исключив $(T_1 - T_2)$, получаем

$$E_T = \alpha_T I^2$$

где $\alpha_T = \alpha \frac{R_n}{k}$ — коэффициент пропорциональности; R_n – сопротивление нагревателя; I – среднеквадратическое значение преобразуемого тока.

Термоэлектрические преобразователи

Термопреобразователи могут использоваться в широком диапазоне частот. Преобразованная при этом величина не зависит от формы кривой исследуемого сигнала. Однако термопреобразователи обладают повышенной чувствительностью к перегрузкам, тепловой инерционностью, значительным собственным потреблением мощности и зависимостью термоЭДС от температуры окружающей среды.

Преобразователи на терморезисторах в основном применяют в приборах для измерения мощности в области высоких частот, преобразовательными элементами в этом случае служат термисторы. Преобразователи на терморезисторах выполняют, как правило, по мостовой схеме. Их принцип действия основывается на разбалансе моста при измерении собственного сопротивления терморезистора.