

КАФЕДРА МЕТРОЛОГИИ И СИСТЕМ КАЧЕСТВА

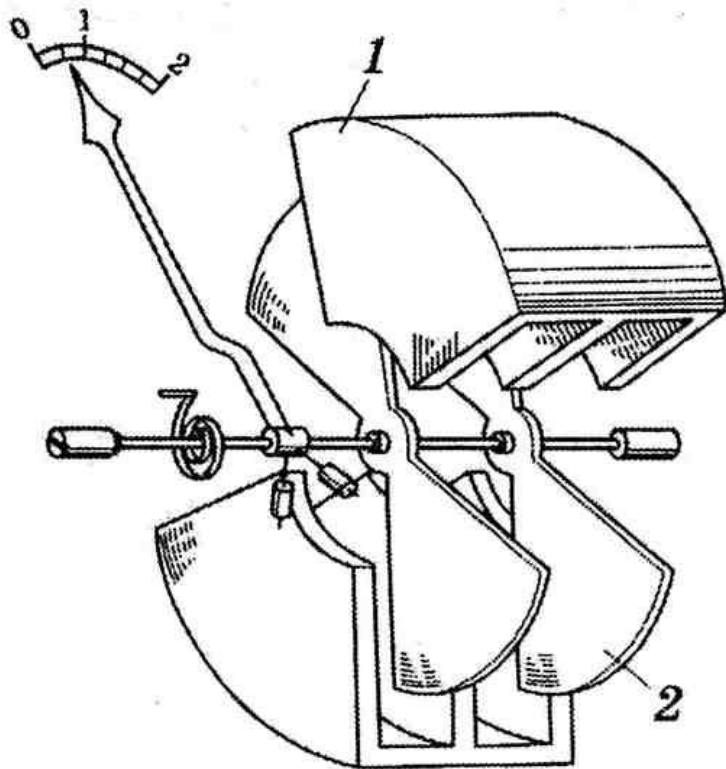
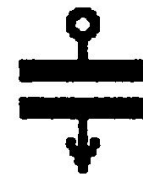
## Лекция 11

**Электростатические измерительные приборы.**

**Электронные аналоговые вольтметры.**

**Общие сведения**

# Электростатические вольтметры



- В электростатических приборах вращающий момент создается в результате взаимодействия двух систем электрически заряженных металлических электродов, одна из которых является подвижной

**1 – неподвижные электроды**  
**2 – подвижные электроды**

# Электростатические вольтметры

- Конструктивно электростатические приборы представляют собой разновидность плоского конденсатора, так как в результате перемещения подвижной части изменяется емкость системы. Измеряемое напряжение  $U$ , приложенное к подвижным и неподвижным электродам, создает между ними электростатическое поле, энергия которого

$$A = \frac{CU^2}{2}$$

# Электростатические вольтметры

- Электростатические силы взаимодействия заряженных электродов создают вращающий момент, под действием которого подвижные электроды втягиваются в пространство между неподвижными и изменяют активную площадь электродов, т.е. изменяют емкость  $C$ :

$$M_{вр}^{\cdot} = \frac{dA}{d\alpha} = \frac{1}{2} \frac{dC}{d\alpha} U^2$$

# Электростатические вольтметры

- Подвижные электроды втягиваются до тех пор, пока вращающий момент не станет равным противодействующему моменту:

$$M_{np} = W\alpha$$

- Из условия равенства моментов следует

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{dC}{d\alpha} U^2$$

# Электростатические вольтметры

- При измерении переменных напряжений мгновенное значение вращающего момента

$$m(t) = \frac{1}{2} \frac{dC}{d\alpha} u^2(t)$$

где  $u(t)$  – мгновенное значение измеряемого напряжения.

- Прибор реагирует на среднее значение вращающего момента:

$$M_{sp} = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) dt = \frac{1}{2} \frac{dC}{d\alpha} \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{1}{2} \frac{dC}{d\alpha} U^2$$

# Электростатические вольтметры

- Уравнение шкалы

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{dC}{d\alpha} U^2$$

- Подбором формы и расположения электродов добиваются изменения множителя  $\frac{dC}{d\alpha}$  вдоль шкалы.

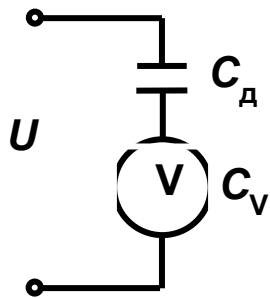
При малых значениях напряжения этот множитель имеет максимальное значение, затем уменьшается с увеличением  $\alpha$ . В результате шкала прибора близка к линейной за исключением небольшого начального участка.

# Электростатические вольтметры

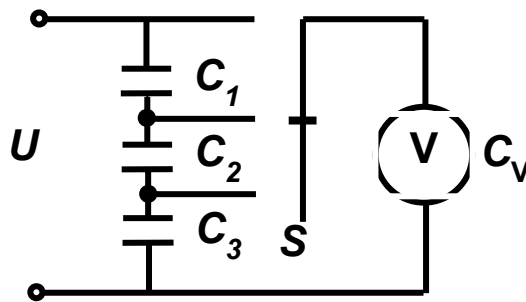
- Пределы измерений на переменном токе расширяют путем включения добавочного конденсатора или емкостного делителя. На постоянном токе используют резистивный делитель напряжения.



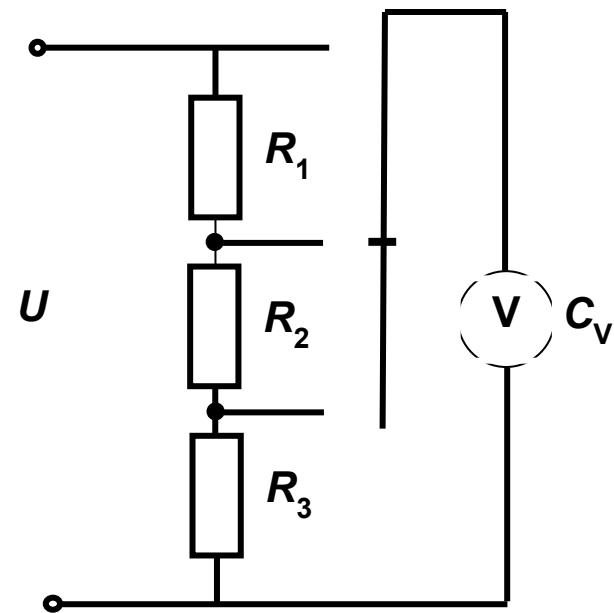
# Расширение пределов измерений



a)



б)



B)

# Электростатические вольтметры

## Достоинства:

- **высокое входное сопротивление;**
- **малая входная емкость;**
- **возможность использования как в цепи постоянного, так и переменного токов;**
- **широкий частотный диапазон (до 30 МГц);**
- **независимость показаний от формы кривой измеряемого напряжения;**
- **независимость показаний от внешних магнитных полей;**
- **малая температурная погрешность.**

## Недостатки:

- **нелинейная шкала;**
- **малая чувствительность из-за слабого собственного электрического поля;**
- **невысокая точность (класс точности 1,0; 1,5),**
- **возможность пробоя между электродами при высоком напряжении;**
- **необходимость экрана от внешних электрических полей**

# Применение электростатических вольтметров

**Электростатические вольтметры применяют для измерения в цепях с маломощными источниками и в цепях высокого напряжения. Точность электростатических приборов можно получить высокой за счет применения специальных конструктивно-технологических мероприятий по снижению погрешностей. В настоящее время разработаны переносные приборы классов точности 0,2; 0,1 и 0,05**

# Электростатические вольтметры

- Кроме измерения напряжения электростатические приборы используют для измерения других электрических величин (мощности, сопротивления, индуктивности и т. п.).
- Измерительные механизмы электростатической системы применяют также во многих специальных приборах (автокомпенсаторах, компараторах, высокочувствительных электрометрах и др.).

# Электронные аналоговые вольтметры

# Электронные аналоговые вольтметры

- Аналоговый электронный вольтметр состоит из электронного преобразователя и магнитоэлектрического измерительного механизма.



# Электронные аналоговые вольтметры

|   |   |
|---|---|
| <b>Вольтметры постоянного тока В2</b>                     | <b>Измерение постоянных напряжений в диапазоне от 0,1 мкВ до 1000В</b>  |
| <b>Вольтметры переменного тока В3</b>                     | <b>Измерение переменных напряжений в диапазоне от 10 мкВ до 300В с частотой от 20 до <math>10^9</math> Гц</b> |
| <b>Импульсные вольтметры В4</b>                           | <b>Измерение пиковых значений импульсных периодических сигналов различной скважности</b>                      |
| <b>Фазочувствительные и селективные вольтметры В5, В6</b> | <b>Снятие АЧХ и ФЧХ<br/>Исследование спектра периодических сигналов</b>                                       |
| <b>Универсальные вольтметры В7</b>                        | <b>Измерение постоянных и переменных напряжений</b>   |

# Электронные аналоговые вольтметры

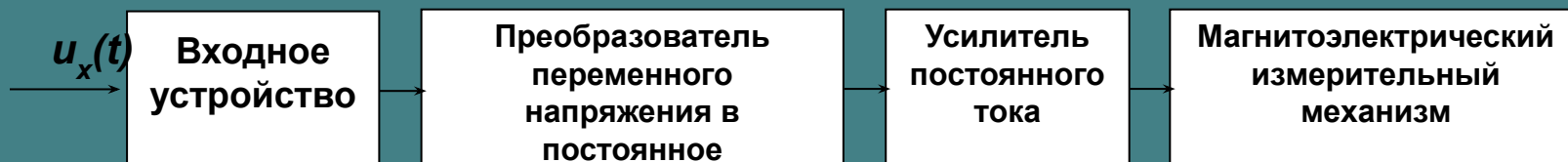
- Электронные аналоговые вольтметры предназначены для измерений в радиоэлектронных цепях, электрические сигналы в которых обладают рядом специфических особенностей:
  - широкий диапазон измеряемых напряжений (от долей мкВ до десятков кВ);
  - широкая область частот (от сотых долей Гц до  $10^9$  Гц);
  - большое разнообразие формы сигналов;
  - в большинстве случаев источники измеряемого напряжения маломощны.



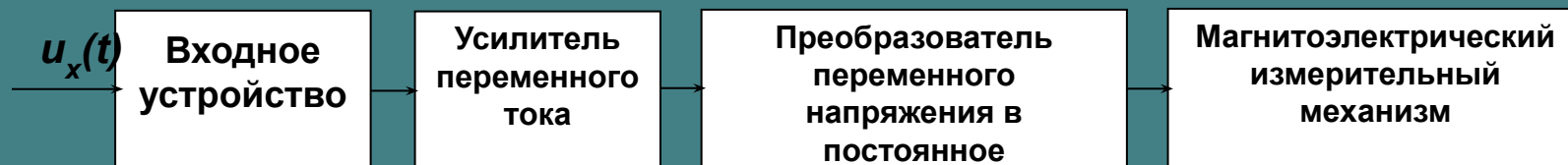
## Электронные аналоговые вольтметры

- Аналоговые электронные вольтметры переменного тока выполняются по схемам:
  - преобразования переменного напряжения в постоянное и дальнейшего усиления постоянного напряжения;
  - усиление переменного напряжения и дальнейшего преобразования переменного напряжения в постоянное .

# Электронные аналоговые вольтметры



а)



б)

# Электронные аналоговые вольтметры

- Вольтметры, построенные по первой схеме, имеют широкий **частотный диапазон от 20 Гц до  $10^9$  Гц**, но недостаточно высокую чувствительность так как преобразователь переменного напряжения в постоянное включается перед усилителем, и поэтому при малых значениях входного напряжения сказывается нелинейность вольтамперной характеристики диода.
- Вольтметры, построенные по второй схеме, характеризуются сравнительно узким диапазоном частот от 10 Гц до 20 МГц, определяемым полосой пропускания усилителя переменного тока, но более **высокой чувствительностью**.

# Электронные аналоговые вольтметры

- Переменный периодический сигнал характеризуется следующими значениями:

- МГНОВЕННЫМ

- амплитудными – максимальное положительное и максимальное отрицательное значения напряжения за период -  $U_m$

- среднеквадратическим

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

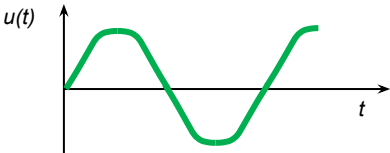
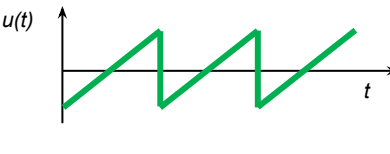
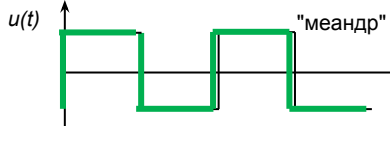
- среднев्यпрямленным

$$U_{cp.v.} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

## Электронные аналоговые вольтметры

- Связь между  $U_m$ ,  $U$  и  $U_{срв}$  осуществляется через коэффициент амплитуды  $K_A$  и коэффициент формы  $K_\Phi$ . В таблице приведены значения  $K_A$  и  $K_\Phi$  для наиболее часто встречающихся форм сигналов.

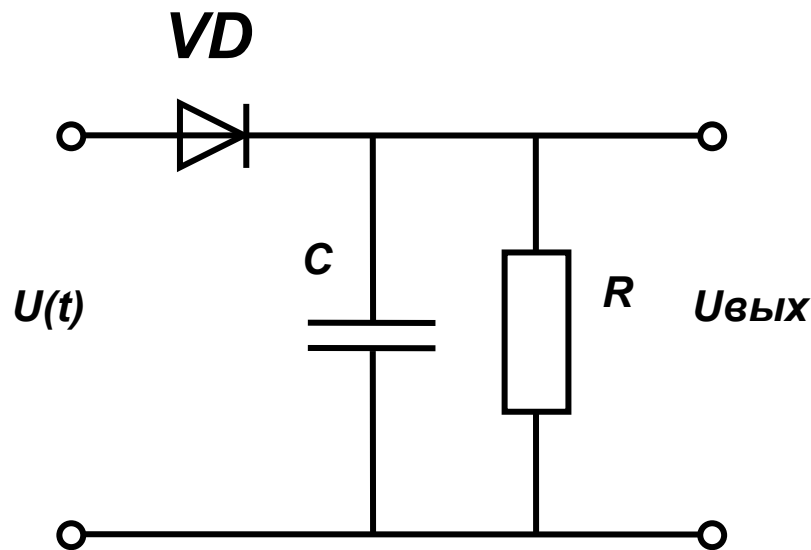
# Электронные аналоговые вольтметры

| Форма кривой переменного напряжения  |  | $K_A$ | $K_\Phi$ |
|--|--|-------|----------|
| Синусоидальная   |  | 1,41  | 1,11     |
| Пилообразная    |  | 1,73  | 1,16     |
| Прямоугольная  |  | 1     | 1        |

- Шкалы вольтметров переменного тока градуируются в среднеквадратических значениях напряжения синусоидальной формы

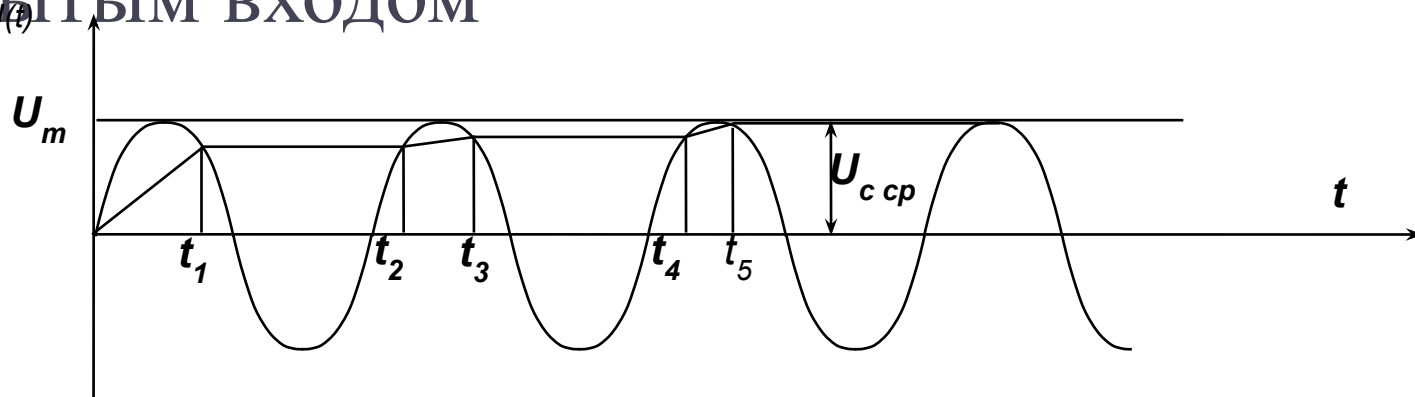
# Вольтметры с преобразователями амплитудных значений

- Преобразователь амплитудных значений с ОТКРЫТЫМ ВХОДОМ

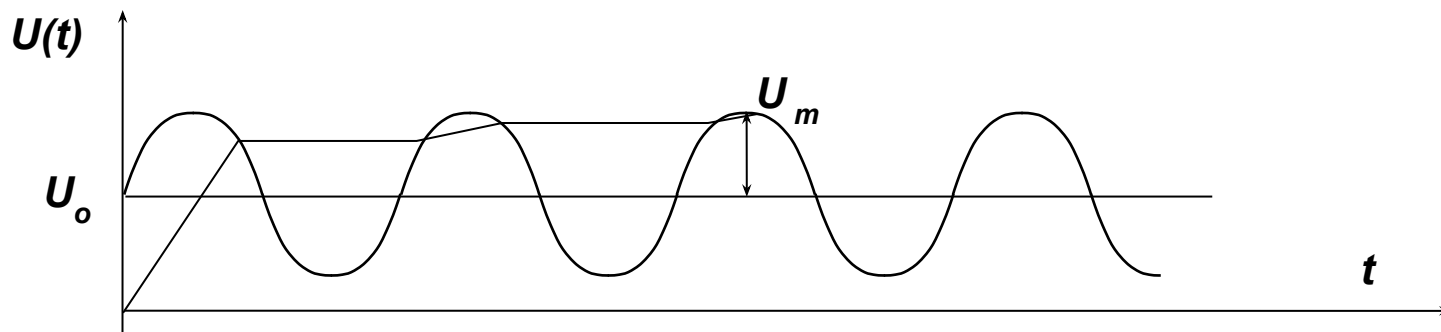




# Преобразователь амплитудных значений с ОТКРЫТЫМ ВХОДОМ

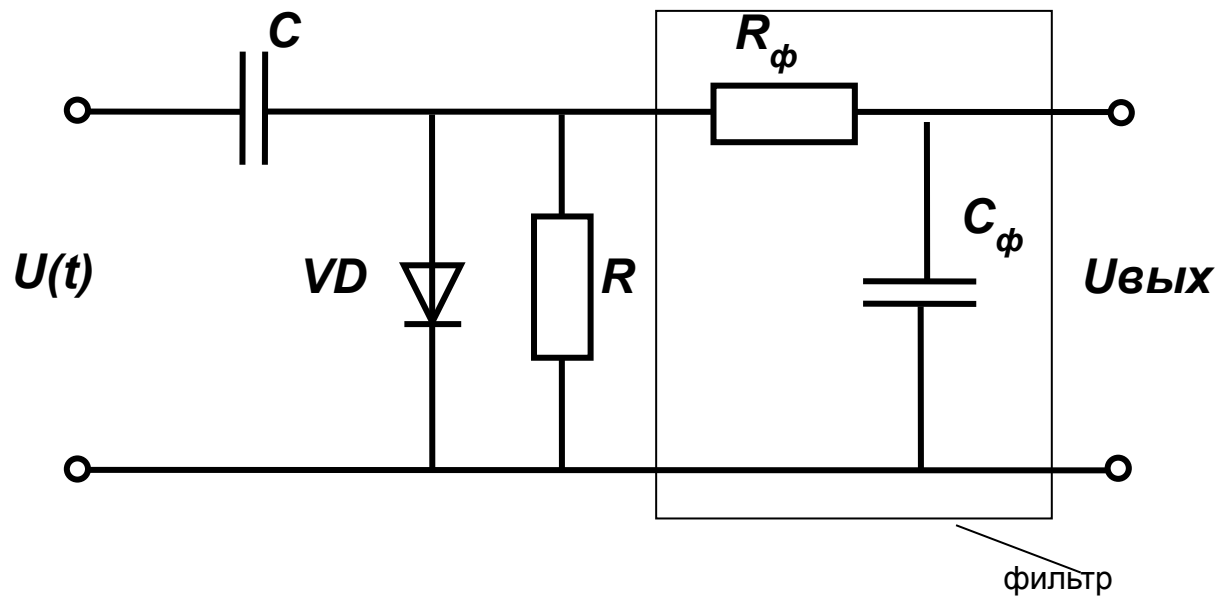


$$U_{c\text{ cp}} = U_m = U_-$$



$$U_{\text{вых}} = U_c = U_m + U_o$$

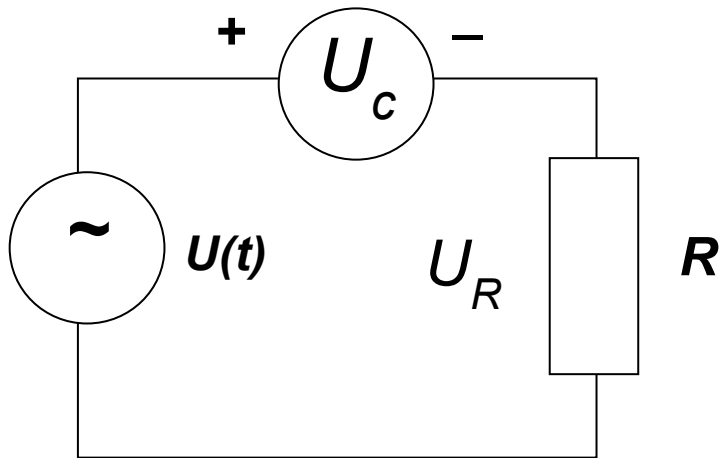
# Преобразователь амплитудных значений с закрытым входом



$U_c = U_m$  – в установившемся режиме

# Преобразователь амплитудных значений с закрытым входом

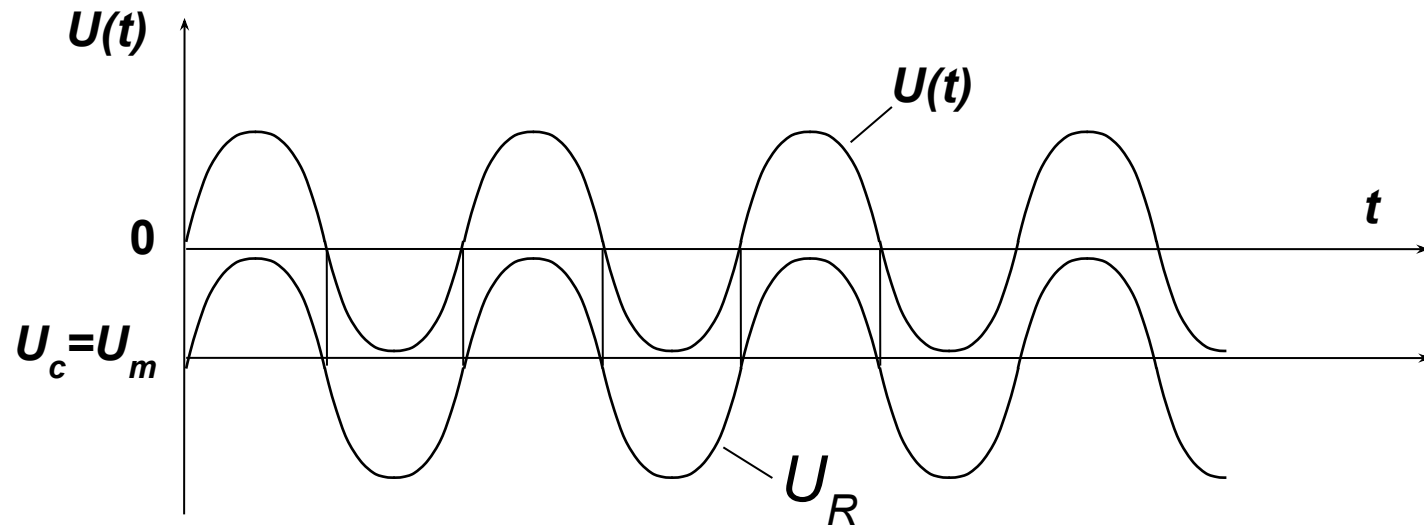
- Эквивалентная схема преобразователя



$$U_R = U(t) - U_c$$

$$U_R = U_m \sin \omega t - U_m$$

# Преобразователь амплитудных значений с закрытым входом



$$U(t) = U_m \sin \omega t + U_o$$

$$U_c = U_m + U_o$$

$$U_R = U_m \sin \omega t - U_m$$