

**Федеральное агентство по образованию  
Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**С.Н. Охулков**

# **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Кафедра “Теоретическая и общая  
электротехника”**

**Для студентов электротехнических  
специальностей всех форм обучения**

# Автозаводская высшая школа управления и технологий

Очная и заочная форма обучения

- Автомобили и автомобильное хозяйство
- Автомобиле- и тракторостроение
- Технология машиностроения

г. Нижний Новгород, ул. Лескова, 68, т. (831) 256-02-10

# Тема 12

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ**

# **Электроизмерительные приборы –**

**это такие технические средства, которые вырабатывают сигналы измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.**

# Классификация электроизмерительных приборов

Электроизмерительные приборы можно классифицировать:

- а) по роду измеряемой величины;*
- б) по физическому принципу действия измерительного механизма;*
- в) по роду тока;*
- г) по классу точности;*
- д) по типу отсчитывающего устройства;*
- е) по исполнению в зависимости от условий эксплуатации;*
- ж) по устойчивости к механическим воздействиям;*
- з) по степени защиты от внешних магнитных и электрических полей и др.*

Электроизмерительные приборы дают возможность измерять как электрические, так и неэлектрические величины. На шкале приводится название прибора или начальная латинская буква измеряемой единицы.

***По роду измеряемой величины***  
электроизмерительные приборы разделяются  
на следующие виды:

- вольтметры (обозначаются буквой *V*)
- амперметры (A)
- ваттметры (W)
- омметры ( $\Omega$ )
- счетчики энергии (*kWh*)
- фазометры ( $\phi$ );
- частотомеры (Hz) и др.

*По физическому принципу действия различают такие системы электроизмерительных приборов:*

- магнитоэлектрическая
- электромагнитная
- электродинамическая
- ферродинамическая
- индукционная
- электростатическая
- вибрационная и др.

## Классификация электроизмерительных приборов

**Условные обозначения на шкале прибора характеризуют классификацию приборов по роду тока:**

- постоянный ток
- переменный (однофазная система)
- постоянный и переменный
- трехфазная система
- трехфазная несимметричная система

***По классу точности  
электроизмерительные приборы  
классифицируются соответственно  
стандартам.***

***Класс точности обозначается цифрой,  
которая равна приведенной погрешности  
(в процентах), допускаемой прибором.***

***Выпускают приборы таких классов точности:  
0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.***

***В счетчиках электроэнергии классы точности  
следующие: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5.***

## Классификация электроизмерительных приборов

***В зависимости от типа  
отсчитывающего устройства***  
электроизмерительные приборы могут быть:

- показывающие
- регистрирующие
- самопишущие
- печатающие
- интегрирующие
- суммирующие

Более распространены показывающие приборы, т. е. приборы непосредственной оценки. Отсчитывающее устройство этих приборов состоит обычно из шкалы и указателя. Указателем может быть стрелка или световое пятно с черточкой. Такие показывающие приборы называются ***аналоговыми***.

Показания данных приборов — это непрерывная функция измеряемой величины. В цифровых электроизмерительных приборах показания приводятся в цифровом виде.

***В зависимости от условий эксплуатации, диапазона рабочих температур и относительной влажности электроизмерительные приборы разделяются на пять групп:***

- группа А (температура +10...+35°С, влажность 80)
- группа Б (температура -30...+40°С, влажность 90)
- группа В1 (температура -40...+50°С, влажность 95)
- группа В2 (температура -50...+60°С, влажность 95)
- группа В3 (температура -50...+80°С, влажность 98)

## Классификация электроизмерительных приборов

***По устойчивости к механическим воздействиям*** приборы подразделяются в зависимости от значения максимально допустимого ускорения при ударах и вибрациях ( $\text{м/с}^2$ ). По стандарту электроизмерительные приборы разделяются на группы :

- обычные с повышенной прочностью (ОП)
- нечувствительные к вибрациям (ВН)
- вибропрочные (ВП)
- нечувствительные к тряске (ТН)
- тряскопрочные (ТП)
- ударопрочные (У)

Обычные приборы группы ОП выдерживают ускорение до 15  $\text{м/с}^2$

## Классификация электроизмерительных приборов

***По степени защиты от внешних магнитных и электрических полей***

**приборы разделяются на I и II категории.**

**От внешних полей приборы защищаются экранами.**

У большинства показывающих электроизмерительных приборов подвижная часть устройства перемещается вследствие действия ***вращающего момента***.

Вращающий момент возникает в результате взаимодействия магнитных или электрических полей и до некоторой степени пропорционален измеряемой величине. В измерительном устройстве всегда есть противодействующий момент, который создается механической или электромагнитной силой.

Приборы, в которых создается электромагнитный противодействующий момент, называют ***логометрами***.

# СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

- *магнитоэлектрическая*
- *электромагнитная*
- *электродинамическая*
- *ферродинамическая*
- *индукционная*
- *электростатическая*
- *вибрационная и др.*

# ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

## *В приборах магнитоэлектрической системы*

вращающий момент создается в результате взаимодействия постоянного магнита с проводником с током. Подвижной частью может быть рамка с током или постоянный магнит, расположенный на оси.

Приборы магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом являются приборами **низких** классов точности и применяются как указательные в транспортных средствах и др.

Электроизмерительные приборы с подвижной рамкой имеют высокую точность и применяются при более точных измерениях.

На рамку с током в магнитном поле действует электромагнитная сила.

Поскольку сила определяется по закону электромагнитной силы, то и вращающий момент будет пропорционален току, протекающему в рамке.

Если противодействующий момент создается пружиной

$$M_{\text{пр}} = m\alpha$$

то угол поворота рамки (стрелки прибора)  $\alpha$  пропорционален току в рамке

$$\alpha = cI$$

( $m$  - удельный противодействующий момент,  $c$  – постоянная величина)

Величина

$$c = \frac{\alpha}{I}$$

называется

***чувствительностью прибора***

и характеризует класс точности

***Поскольку угол поворота стрелки пропорционален току, шкала приборов магнитоэлектрической системы равномерная, что является преимуществом таких приборов.***

**Электроизмерительный прибор электромагнитной системы имеет неподвижную катушку и расположенную на оси ферромагнитную пластинку. Если в катушке протекает измеряемый ток, то созданное катушкой поле втягивает вглубь ферромагнитный лепесток.**

Если измеряется величина в цепи постоянного тока, то вращающий момент пропорционален квадрату тока. Если в катушке протекает синусоидальный ток, то вращающий момент пропорционален квадрату действующего значения этого тока

$$M_{\text{вр}} = kI^2$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности

Угол отклонения подвижной части также пропорционален квадрату тока

$$\alpha = cI^2$$

Квадратичная пропорциональность означает, что направление отклонения стрелки не зависит от направления тока, т. е.

***приборами  
электромагнитной системы  
можно измерять  
как в цепях постоянного,  
так и в цепях переменного тока***

Приборы электромагнитной системы могут непосредственно измерять **значительные токи** (до 300 А) и **напряжения** (до 600 В).

Измерительный механизм амперметра на большой ток имеет катушку в виде одного витка медной шины.

Электромагнитный вольтметр на большое напряжение имеет катушку с большим количеством витков провода малого сечения с дополнительными резисторами, которые компенсируют температурные погрешности.

Точность электромагнитного прибора значительно ограничивается из-за наличия ферромагнитного сердечника и связанного с этим явления остаточного намагничивания. Для уменьшения влияния гистерезиса (т. е. повышения класса точности прибора) сердечник изготавливают из специальных ферромагнитных сплавов (например, пермаллоев) с небольшой коэрцитивной силой.

**Такие приборы имеют высокий класс точности, до 0,2**

Основными *преимуществами* приборов электромагнитной системы можно считать:

- а) простоту, надежность, дешевизну;
- б) возможность использования в цепях постоянного и переменного тока;
- в) высокую перегрузочную способность.

К *недостаткам* приборов электромагнитной системы относят:

- а) невысокую точность;
- б) невысокую чувствительность;
- в) большое собственное потребление электроэнергии (0,5... 15 Вт);
- г) ограниченный частотный диапазон измеряемых величин;
- д) неравномерность шкалы;
- е) чувствительность к влиянию внешних магнитных полей.

# ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

## *Приборы электродинамической системы*

имеют измерительный механизм, состоящий из двух катушек:  
*неподвижной и подвижной.*

*Неподвижная катушка* имеет две секции, внутри которых на оси расположена подвижная катушка. При наличии тока в катушках возникают электромагнитные силы взаимодействия, стремящиеся повернуть подвижную катушку, т. е. вращающий момент пропорционален (для постоянных токов и соответствующей конструкции механизма) произведению токов:

$$M_{\text{вр}} = kI_1 I_2$$

Если прибор включается в цепь синусоидального тока, то вращающий момент пропорционален произведению действующих значений тока и косинусу сдвига фаз между ними:

$$M_{\text{вр}} = kI_1 I_2 \cos \alpha$$

***Электродинамические приборы можно использовать как амперметры, вольтметры и ваттметры в цепях постоянного и переменного токов***

# Приборы электродинамической системы имеют преимущества

перед приборами других систем:

- ✓ очень высокую точность (классы 0,1; 0,2; 0,5);
- ✓ возможность использования в цепях постоянного и переменного тока.

*Высокая точность этих приборов обусловлена тем, что магнитные потоки замыкаются по воздуху, а не в ферромагнитных сердечниках, т. е. исключаются влияние и погрешности явления гистерезиса, вихревых токов и др. Поэтому приборы электродинамической системы в виде переносных широко применяются в точных лабораторных исследованиях.*

Основными **недостатками** приборов  
электродинамической системы считают:

- ✓ зависимость показания от влияния внешних магнитных полей из-за слабого собственного магнитного поля;
- ✓ слабую перегрузочную способность вследствие ограничения токоподвода к подвижной катушке;
- ✓ значительную потребляемую мощность;
- ✓ незначительный вращающий момент.

*Для уменьшения влияния внешних магнитных полей и с целью увеличения вращающего момента в приборах **ферродинамической системы** применяется ферромагнитный сердечник. Неподвижная катушка этих приборов расположена на стальном магнитопроводе.*

*Прибор создает мощный магнитный поток, который защищает его от влияния внешних полей и повышает вращающий момент.*

## ПРИБОРЫ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Принципиально приборы *индукционной системы* можно сделать любого назначения (амперметры, вольтметры, ваттметры и т. п.). Но самое большое распространение получили *индукционные счетчики электрической энергии*.

### ***Индукционный счетчик —***

это маленький двигатель переменного тока. Принцип действия основывается на взаимодействии вращающегося (или бегущего) магнитного поля с вихревыми токами в подвижной части прибора.

Бегущее поле создается двумя магнитными потоками,  
которые сдвинуты по фазе на некоторый угол.  
Эти потоки создаются двумя электромагнитами.  
Обмотка одного электромагнита (с большим количеством  
витков) включена параллельно нагрузке.  
Обмотка второго имеет, малое количество витков и включается  
последовательно с нагрузкой,  
т. е. один поток пропорционален напряжению,  
а второй—току нагрузки.

Создается  
***вращающий момент  $M_{вр}$*** ,  
пропорциональный мощности переменного тока,

$$M_{вр} = kP$$

Противодействующий момент создается постоянным магнитом, в поле которого вращается подвижная часть – алюминиевый диск.

В результате взаимодействия постоянного магнитного потока с вихревыми токами создается ***тормозящий момент  $M_T$*** .

При постоянной частоте вращения

$$M_{вр} = M_T,$$

$$W = cn,$$

где  $W$  - энергия, потребляемая нагрузкой,  
 $n$  - количество оборотов счетчика,  
 $c$  - постоянный коэффициент (постоянная счетчика показывает количество киловатт-часов электроэнергии, соответствующее одному обороту диска)

## Преимуществами приборов индукционной системы МОЖНО СЧИТАТЬ:

- ✓ сравнительно большой вращающий момент;
- ✓ устойчивость к значительным перегрузкам (по току до 300%);
- ✓ независимость от внешних магнитных полей.

Стоит отметить, что счетчики индукционной системы используют для переменного тока лишь одной частоты. Показания приборов этой системы в значительной степени зависят от температуры окружающей среды.

**Для расширения пределов измерения энергии переменного тока по напряжению и току используют измерительные трансформаторы напряжения и тока.**

# ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Измерительный механизм прибора *электростатической системы* состоит из металлических изолированных пластин. Под действием потенциала подвижная пластина отклоняется, т. е. создается вращающий момент, пропорциональный квадрату постоянного напряжения, или квадрату действующего значения синусоидального напряжения:

$$M_{\text{вр}} = cU^2$$

**Приборы электростатической системы используются только как *вольтметры постоянного и переменного напряжения.***

## Преимуществами электростатических вольтметров

МОЖНО СЧИТАТЬ:

- ✓ малое собственное потребление электрической энергии;
- ✓ нечувствительность к внешним магнитным полям и колебаниям температуры;
- ✓ возможность измерять высокие напряжения без применения измерительных трансформаторов напряжения.

## К недостаткам приборов этой системы

МОЖНО ОТНЕСТИ

- ✓ сравнительно низкую чувствительность приборов.

Для расширения пределов измерения электростатическими вольтметрами применяют *емкостные и резистивные делители напряжения*

# ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ

*Цифровые приборы* измеряют значения непрерывной электрической величины в отдельные моменты времени. Результат измерения выдается в цифровой форме.

Промышленность изготавливает цифровые вольтметры постоянного напряжения от 1 мкВ до 1000 В.

Благодаря применению калиброванных шунтов эти приборы можно использовать как *цифровые амперметры* до 7500 А, а также как *вольтметры переменного напряжения, частотомеры, омметры* и др. Эти приборы имеют очень большую точность измерения (погрешности от 0,1 до 1%), большое быстродействие, широкий диапазон измерений. Цифровые приборы можно коммутировать с вычислительными машинами.



**К недостаткам** цифровых приборов нужно отнести их высокую стоимость и относительную сложность.

# ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И МОЩНОСТЕЙ

## *Для измерения тока*

*любой ветви электрической цепи амперметр включают последовательно с элементами цепи.*

В цепях постоянного тока обычно применяются приборы магнитоэлектрической системы и нечасто - электромагнитной системы.

Для уменьшения погрешности измерения нужно, чтобы сопротивление амперметра было значительно меньше (на два порядка), чем сопротивление элемента ветви, в которой измеряется ток.

# ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И МОЩНОСТЕЙ

## *Для измерения напряжения*

*вольтметр включают параллельно элементу, напряжение на котором нужно определить.*

В цепях постоянного тока обычно пользуются приборами магнитоэлектрической системы.

Для уменьшения погрешности измерения сопротивление вольтметра должно быть больше (на два порядка), чем сопротивление элемента, на котором измеряется напряжение.

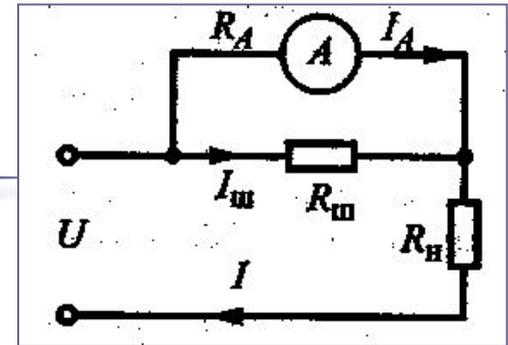
## *Мощность*

*в цепи постоянного тока  
вычисляется по показаниям  
амперметра и вольтметра.*

$$P = UI$$

# ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И МОЩНОСТЕЙ

*Для расширения пределов измерения амперметром используют шунты*



Если  $I_A$  — максимально допустимый ток амперметра, то можно записать:

$$I_A R_A = I_{\text{ш}} R_{\text{ш}}, \quad I_{\text{ш}} = \frac{I_A R_A}{R_{\text{ш}}}$$

По первому закону Кирхгофа:

$$I = I_A + I_{\text{ш}}, \quad \frac{I}{I_A} = 1 + \frac{R_A}{R_{\text{ш}}}$$

Отношение  $n = I / I_A$

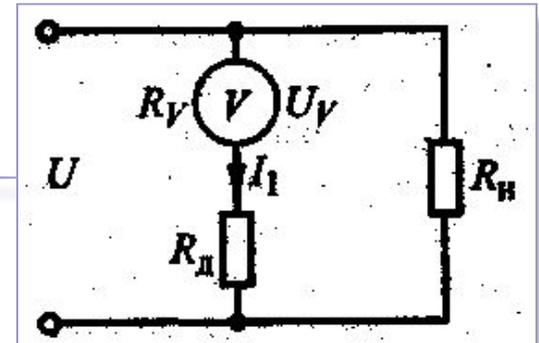
называется коэффициентом расширения пределов измерения амперметром. В этом случае можно определить сопротивление шунта, который обеспечивает расширение пределов с коэффициентом  $n$ :

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1}$$

# ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И МОЩНОСТЕЙ

Для расширения пределов измерения вольтметра используют дополнительные сопротивления, которые включаются последовательно с обмоткой вольтметра

Если  $U_V$  — максимально допустимое напряжение вольтметра, то



$$U = I_1 R_V + I_1 R_D$$

Величина  $m = U / U_V$  называется коэффициентом расширения пределов измерения вольтметром.

$$\text{Тогда } m = \frac{I_1}{U_V} (R_V + R_D).$$

Поскольку  $U_V / I_1 = R_V$ , можно определить величину дополнительного сопротивления, которое обеспечивает расширение пределов измерения вольтметра:

$$R_D = R_V (m - 1)$$

# Измерение параметров электрической цепи

## Электрическое сопротивление

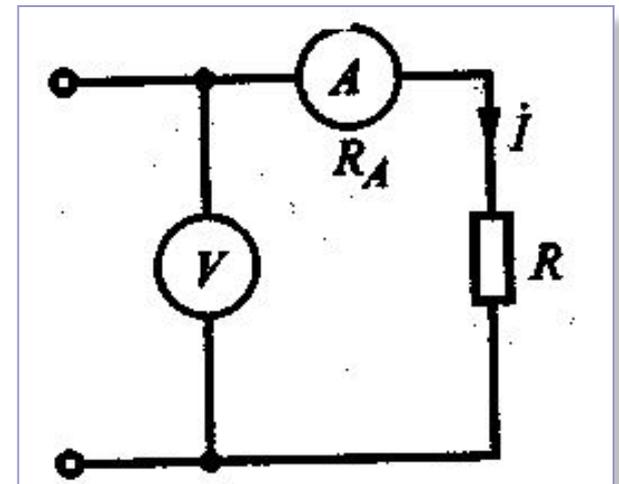
измеряют несколькими способами, простейший из них - метод амперметра-вольтметра.

При измерении сопротивления по схеме, приведенной справа:

$$R = U / I$$

Измеряемое сопротивление  $R_{и}$  отличается от действительного  $R$ :

$$R_{и} = R + R_A,$$



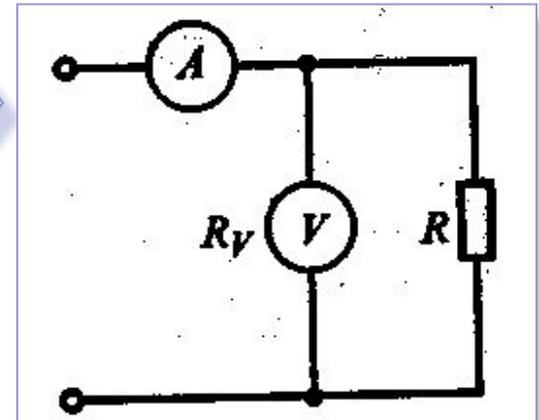
т. е. внутреннее сопротивление амперметра  $R_A$  вносит погрешность измерения. Поэтому такая схема применяется при измерении достаточно больших сопротивлений ( $R \gg R_A$ ). Внутреннее сопротивление амперметра должно быть не менее чем на два порядка ниже измеряемого.

# Измерение параметров электрической цепи

Для измерения малых сопротивлений применяют следующую схему:

В этом случае неизвестное сопротивление можно определить:

$$R_{\text{и}} = \frac{R}{1 + R/R_V}$$



Эта схема используется, когда измеряемое сопротивление не менее чем на два порядка ниже внутреннего сопротивления вольтметра.

Непосредственно сопротивление измеряют омметром, который имеет набор дополнительных резисторов и источник питания. Прибор работает по принципу измерения тока при постоянной ЭДС. Шкала градуируется в единицах сопротивления. Омметры имеют большую погрешность (класс точности 2,5) и неравномерную (обратную) шкалу.

# Измерение параметров электрической цепи

Более точным является  
**мостовой метод измерения  
сопротивлений.**

Резистор  $R$ , сопротивление которого измеряется,  
включают в плечо моста, сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$   
- известны (см. схему)

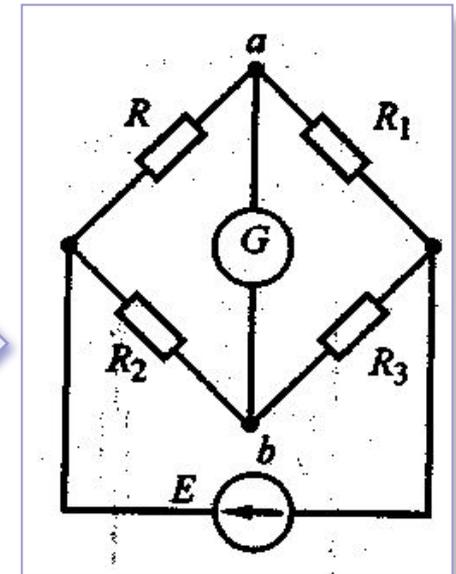


В диагональ  $ab$  включают  
**магнитоэлектрический гальванометр.**  
Гальванометр показывает отсутствие тока, когда

$$RR_3 = R_1R_2$$

То есть неизвестное сопротивление можно определить как

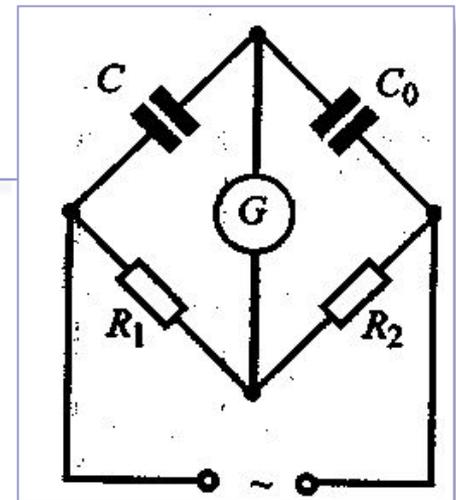
$$R = \frac{R_1R_2}{R_3}$$



# Измерение параметров электрической цепи

Мост переменного тока используют для  
***измерения емкости.***

Если не учитывать потерь в конденсаторе,  
можно проводить измерения по схеме

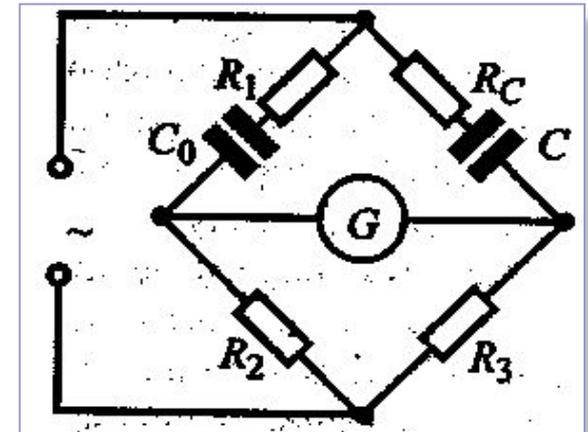


Измеряемая емкость определяется из условия  
равновесия моста:

$$C = C_0 \frac{R_2}{R_1}$$

# Измерение параметров электрической цепи

Если учитывать сопротивление конденсатора ( $R_C$ ), можно использовать схему последовательного замещения конденсатора



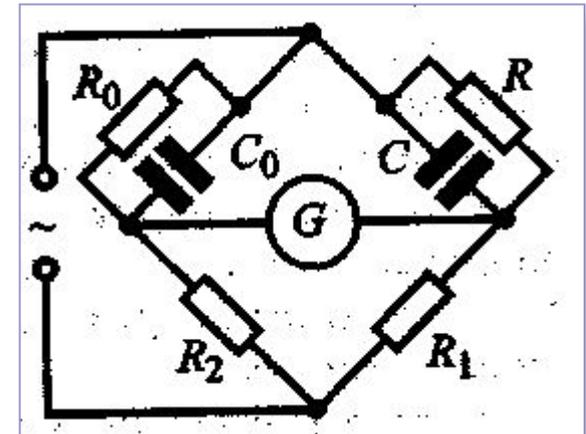
Можно определить  
**сопротивление конденсатора и добротность:**

$$R_C = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

$$Q = \frac{1}{\omega C_0 R_1}$$

# Измерение параметров электрической цепи

Для конденсатора, имеющего значительные потери, измерения проводят по схеме



Из условий равновесия моста:

$$C = C_0 \frac{R_2}{R_1}$$

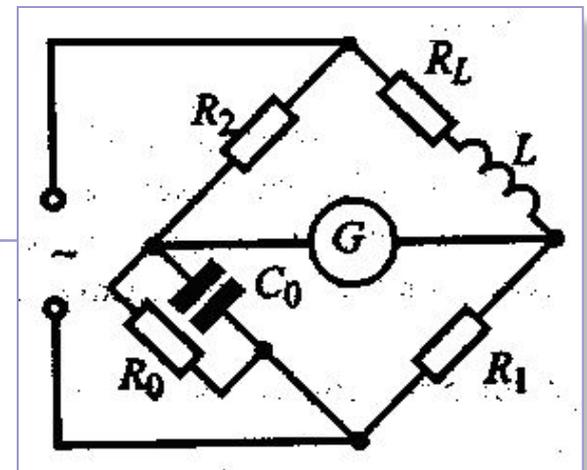
$$Q = \omega C_0 R_0$$

**Мосты переменного тока имеют много диапазонов измерения и класс точности до 0,01**

# Измерение параметров электрической цепи

По мостовой схеме проводят также  
***измерение индуктивности.***

Справа приведена схема моста переменного тока ***для измерения индуктивности и активного сопротивления катушки***



Из условия равновесия моста определяют:

$$L = C_0 R_1 R_2$$

$$R_L = \frac{R_1 R_2}{R_0}$$

# Рекомендуемая литература

---

- 1. Алтунин Б.Ю., Панкова Н.Г. Теоретические основы электротехники:** Комплекс учебно - методических материалов: Часть 1 / Б.Ю. Алтунин, Н.Г. Панкова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-130 с.
- 2. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.1/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-98 с.
- 3. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.2/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2008.-98 с
- 4. Касаткин, А.С. Электротехника** /А.С. Касаткин, М.В. Немцов.-М.: Энергоатомиздат, 2000.
- 5. Справочное пособие по основам электротехники и электроники** /под. ред. А.В. Нетушила.-М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники.**-3-е изд., перераб. И доп.-М.: Радио и связь, 1990.-512 с.: ил.
- 7. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника:** учебник / О. П. Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.

# Тема 12 Закончена

Благодарю за внимание