

ПФЛ л.3 ЭИП 1 окт2012

**Электроизмерительные
приборы**

Принцип действия магнитоэлектрических приборов (рис.1)

- основан на взаимодействии поля постоянного магнита **1** и проводников в виде рамки **2**, расположенных на стальном сердечнике **4**, по которым протекает измеряемый ток I . Сила F , с которой магнитное поле постоянного магнита (N-S) действует на рамку с током I , зависит от величины тока I и магнитной индукции поля $B = S \cdot \Phi$, где S – площадь рамки, а Φ - магнитный поток

Вращающийся момент

- **При прохождении тока в рамке создается вращающийся момент**

$$M_{вр} = c \cdot \Phi \cdot I,$$

(c – коэффициент пропорциональности), который заставляет рамку **2** вращаться.

Стрелка - указатель жестко связана с осью рамки прибора начинает перемещаться.

Момент $M_{вр}$

- уравнивается противодействующим моментом $M_{пр}$, создаваемым упругим элементом (пружиной). Стрелка устанавливается на определенном делении шкалы при равенстве моментов $M_{вр} = M_{пр}$.
Угол поворота стрелки:

$$\alpha = c \cdot I$$

прямо пропорционален величине измеряемого тока I , следовательно, шкала магнитоэлектрического прибора равномерная

- Направление вращающегося момента, определяемое по правилу левой руки, изменяется, если ток меняет свое направление, поэтому на клеммах прибора обязательно указывается полярность (+ и -) для правильного включения прибора (отклонение стрелки от нуля слева направо)

!!

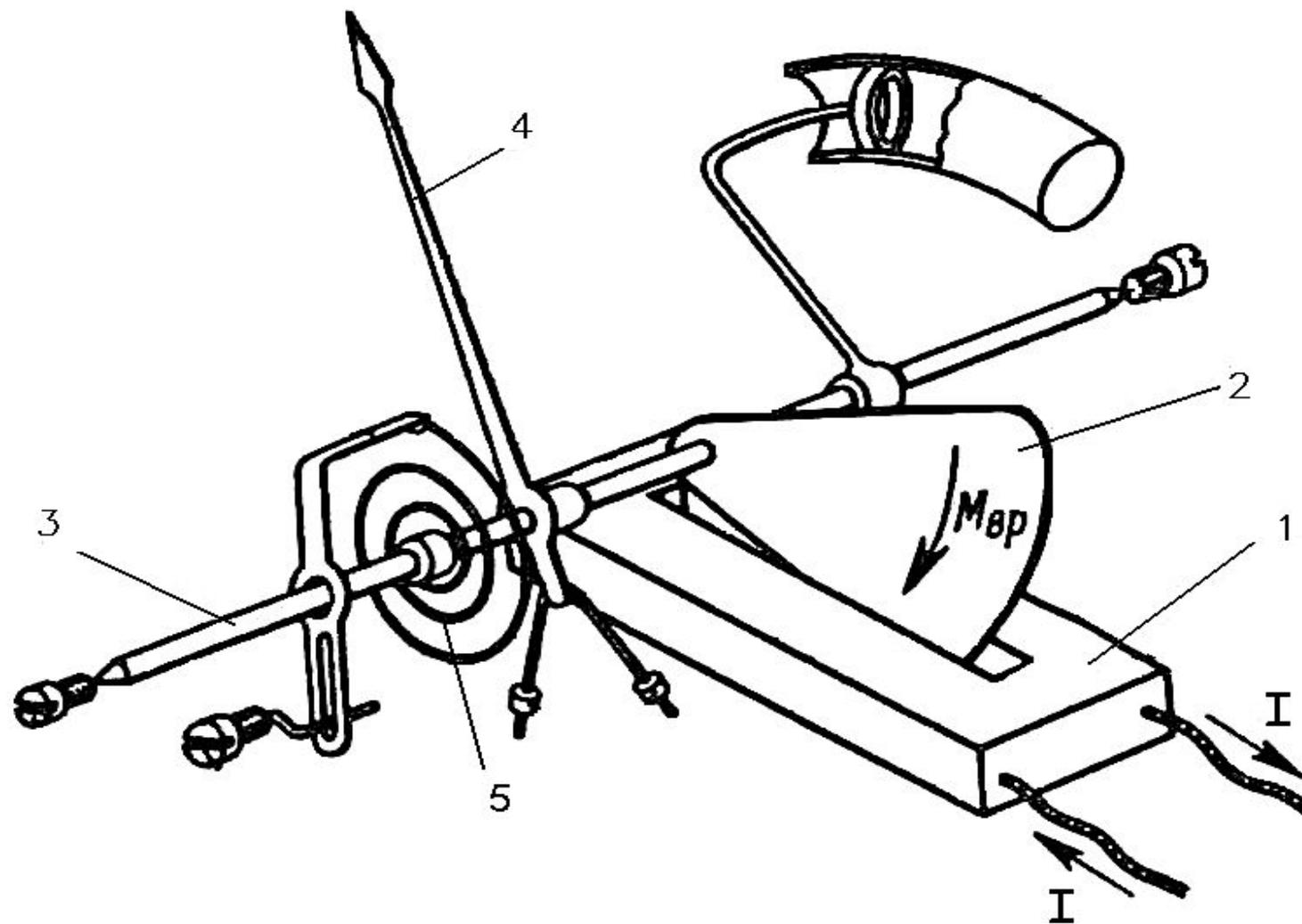
- Если такой прибор включить в цепь переменного синусоидального тока, то на его измерительную катушку (рамку) будут действовать быстро изменяющиеся по величине и направлению силы, среднее значение которых равно нулю

Достоинства и недостатки

- Достоинства приборов данной системы: высокая точность измерений; равномерная шкала; незначительное потребление энергии; малая чувствительность к посторонним (наведенным) магнитным полям.
- Недостатки: необходимость применения специальных преобразователей для измерений в цепях переменного тока; чувствительность к перегрузкам

- Класс точности (определение класса точности см. 2.2.) магнитоэлектрических приборов 0,5-1,5. Чаще всего они применяются для измерения напряжения, тока и сопротивления в цепях постоянного тока

Приборы электромагнитной системы



Приборы электромагнитной системы

- Приборы этой системы имеют наиболее простую конструкцию (рис. 2). Для создания вращающегося момента используется силовое действие магнитного поля неподвижной катушки **1** на подвижный ферромагнитный сердечник

Момент $M_{вр}$ пропорционален квадрату измеряемого тока

- Под влиянием магнитного поля, созданного измеряемым током I , магнитный сердечник **2** втягивается в катушку, поворачивая ось **3** с указательной стрелкой **4**. Сила F , с которой сердечник втягивается в катушку, зависит от величины тока I и магнитной индукции в самом сердечнике. Приближенно принимают, что сила F и обусловленный ею момент $M_{вр}$ пропорционален квадрату измеряемого тока, проходящего через катушку

- Момент $M_{вр}$ при определенном угле поворота уравновешивается противодействующим моментом $M_{пр}$ создаваемым пружиной 5. Стрелка устанавливается на определенном делении шкалы при равенстве моментов

$$M_{вр} = M_{пр}$$

Угол отклонения стрелки прибора:

$$\alpha = c \cdot I^2$$

- прямо пропорционален квадрату величины измеряемого тока I

Шкала неравномерная

- Шкала прибора из-за квадратичного характера зависимости между углом отклонения подвижной части α и током I неравномерная (см. рис. 2). Поскольку шкала неравномерная, измерения, проводимые в начале шкалы имеют либо очень большую погрешность, либо вообще невозможны (сектор $[0 \div 0,3]$ - так называемая “зона нечувствительности” данного прибора).

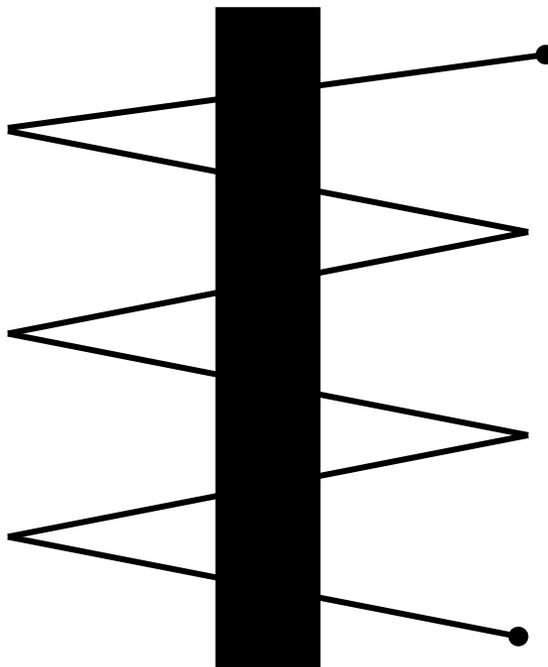
Прибор пригоден для измерения как постоянного, так и переменного тока

- так как изменение направления тока на обратный не меняет знака угла α отклонения подвижной части (т. к. угол отклонения пропорционален квадрату тока). Показания приборов при измерениях на переменном токе равны действующему (среднеквадратичному) значению измеряемой величины и не зависят от формы кривой измеряемых токов и напряжений

Достоинства и недостатки электромагнитных приборов

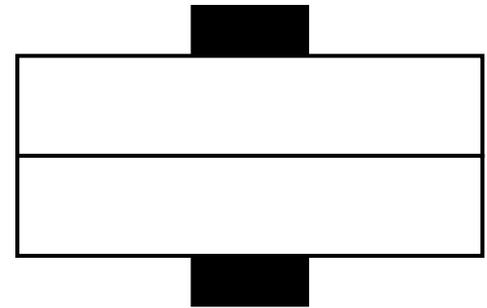
- Достоинства : простота конструкции и низкая стоимость; пригодность для работы в цепях постоянного и переменного токов; надежность и устойчивость к перегрузкам
- Недостатки: низкая точность и чувствительность, так как магнитный поток большую часть пути проходит по воздуху; большое собственное потребление энергии; зависимость показаний от внешних магнитных полей; неравномерная шкала.
- Класс точности приборов данной системы не выше 1,5.

Условное обозначение прибора электромагнитной системы

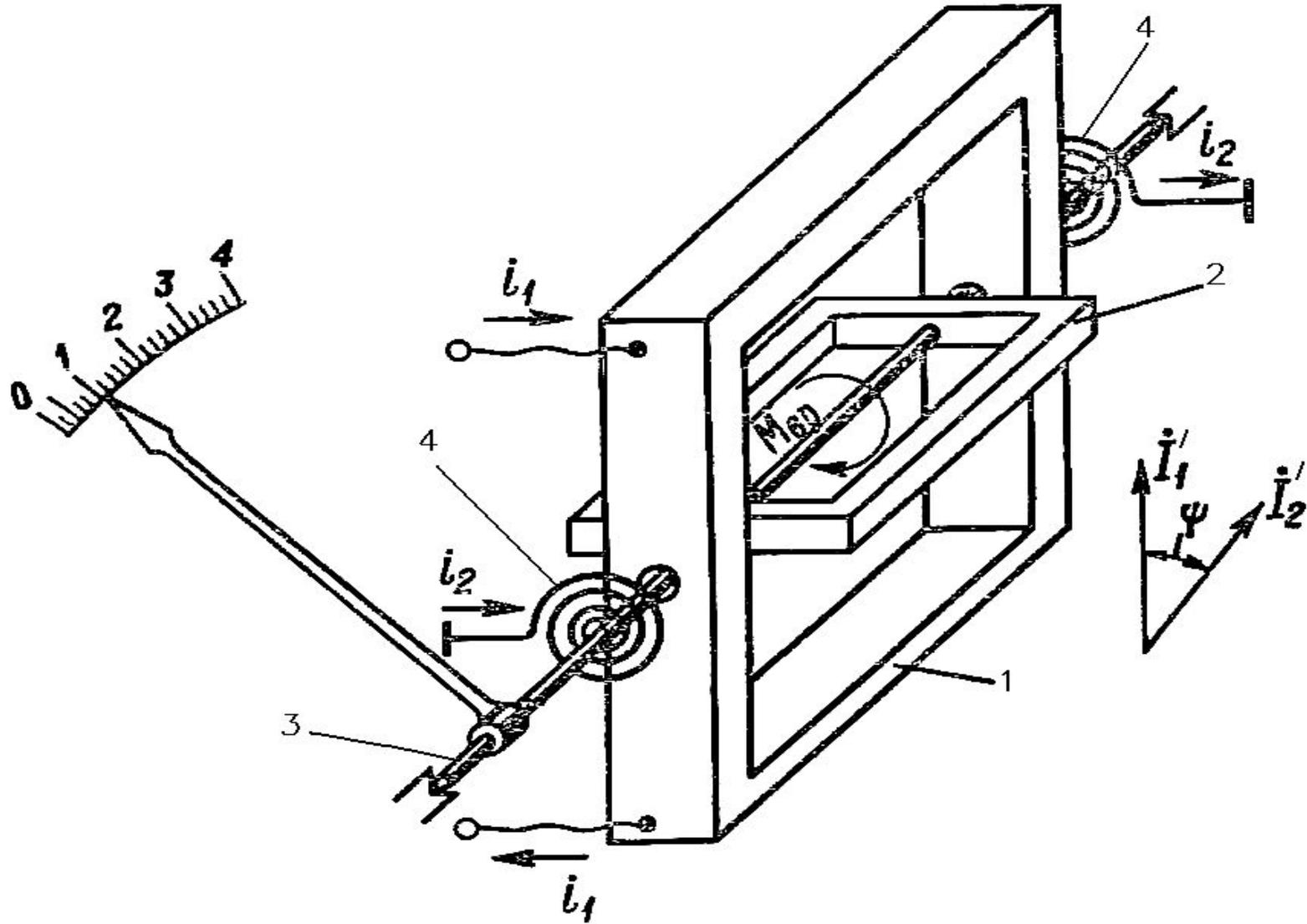


Приборы электродинамической системы

- Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии двух катушек **1** и **2**, по которым протекают измеряемые токи i_1 и i_2 . Измерительный механизм состоит из двух катушек: неподвижной **1** и подвижной



Приборы электродинамической системы



Устройство

- Подвижная катушка **2**, находящаяся внутри неподвижной **1**, закреплена на оси **3**. Ток i_2 к подвижной катушке подходит через спиральные пружины **4**, которые также предназначены для создания противодействующего момента $M_{пр}$.
- Угол отклонения стрелки электродинамического прибора в цепи постоянного тока:
- $\alpha = c_1 \cdot I_1 \cdot I_2$
- прямо пропорционален произведению токов в неподвижной и подвижной катушках

Вращающий момент

- При переменном токе в любой момент времени пропорционален произведению мгновенных значений токов:
- $i_1 = I'_{1m} \sin \omega t$ $i_2 = I'_{2m} \sin (\omega t + \phi),$
- где ψ - угол сдвига фаз между векторами токов.
- Показания приборов в этом случае определяются средним значением вращающего момента за период:
- $M_{вр} = c_2 \cdot I'_{1m} \sin \omega t \cdot I'_{2m} \sin (\omega t + \phi) \cdot dt = c_2 \cdot I'_1 \cdot I'_2 \cdot \cos \phi ,$
- где I'_1 и I'_2 - действующие значения переменных синусоидальных токов, соответственно i_1 и i_2 .

Шкала электродинамического прибора неравномерная

- Таким образом, угол отклонения стрелки электродинамического прибора в цепи переменного тока прямо пропорционален произведению трех величин: тока в неподвижной катушке, тока в подвижной катушке и косинуса угла сдвига фаз ϕ между векторами этих токов. Следовательно, шкала электродинамического прибора неравномерная, но здесь надо помнить, что электродинамический ваттметр имеет равномерную шкалу

Достоинствами электродинамических приборов

- являются: высокая точность, обусловленная отсутствием стальных сердечников;
- способность работать на постоянном и переменном токе.
- При измерении в цепях переменного тока показания приборов соответствуют среднеквадратичному значению.

Недостатки

- сравнительно низкая чувствительность;
- зависимость показаний от внешних магнитных полей;
- опасность перегрузок;
- большая мощность потерь;
- относительно высокая стоимость из-за сложной конструкции;
- неравномерность шкалы при измерении тока и напряжения

Класс точности

- Класс точности приборов данной системы: 0,1; 0,2; 0,5.
- Условное обозначение прибора электродинамической системы 
- Для уменьшения влияния посторонних магнитных полей электродинамические приборы делают астатическими и применяют экранирование

Ферродинамические приборы

- Если в неподвижную катушку электродинамического прибора ввести ферромагнитный сердечник, то напряженность собственного магнитного поля увеличится, что приведет к повышению чувствительности прибора и ослаблению влияния внешних магнитных полей, однако появятся потери, обусловленные гистерезисом и вихревыми токами.
- Эти приборы называют ферродинамическими

Для измерения силы тока

- последовательно в цепь с сопротивлением R включают амперметр A , считая, что $R_{\text{ш}}$ в цепи отсутствует
- в цепях постоянного тока для этой цели применяются главным образом приборы магнитоэлектрической системы.
- В цепях переменного синусоидального тока используются преимущественно амперметры электромагнитной системы.
- Последовательное включение амперметра A в измеряемую цепь обуславливается тем, что его внутреннее (собственное) сопротивление R_A практически равно нулю. Следовательно, наличие его в цепи никак не сказывается на истинном значении

ШУНТЫ-СОПРОТИВЛЕНИЯ

- Для расширения предела измерения амперметра A магнитоэлектрической системы в цепях постоянного тока применяют шунты-сопротивления $R_{ш}$, включаемые параллельно амперметру A
- Шунты бывают внутренние и наружные. Амперметры на небольшие токи (до 30 А) часто имеют внутренние шунты.
- На большие токи (до 7500А) применяют наружные шунты.

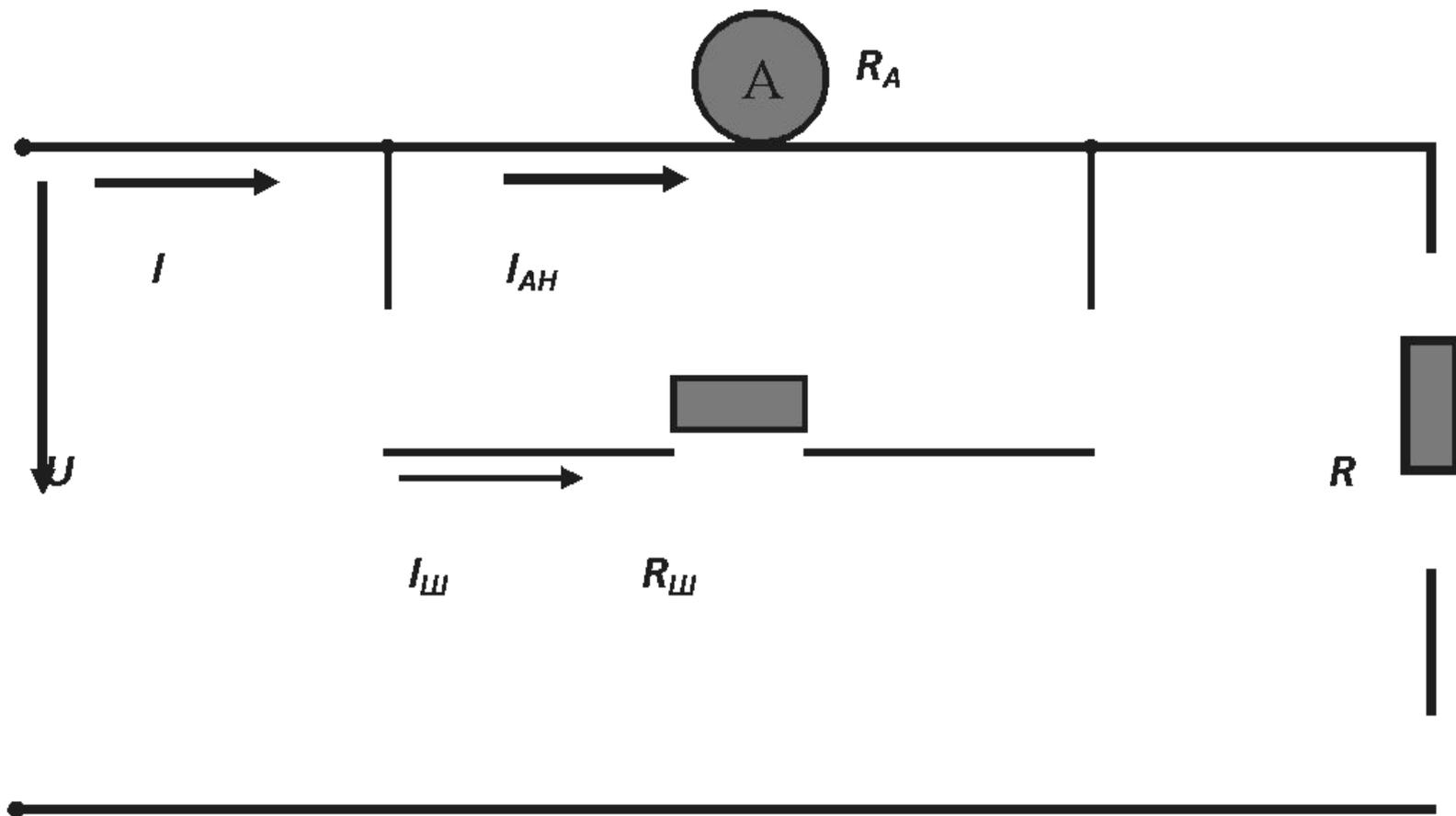


Рис. 4. Схема включения шунта $R_{ш}$ к амперметру A .

Пример

- Рассчитать шунт к амперметру с пределом измерения $I_{AH} = 5 \text{ А}$ для измерения постоянного тока $I = 50 \text{ А}$ и определить цену его деления до и после присоединения шунта. Шкала амперметра имеет $N_H = 100$ делений, а его внутреннее сопротивление $R_A = 0,015 \text{ Ом}$.
- Решение: в двух параллельных ветвях токи разветвляются обратно пропорционально сопротивлению этих ветвей:

$$\frac{I_{AH}}{I_{Ш}} = \frac{R_{Ш}}{R_A}$$

откуда $R_{Ш} = \frac{I_{AH}}{I_{Ш}} \cdot R_A$

- Ток в шунте $I_{Ш} = I - I_{AH} = 50 - 5 = 45 \text{ А}$, следовательно, $R_{Ш} = 0,00167 \text{ Ом}$.

- По ГОСТу шунты изготавливаются на падение напряжения 45, 75, 100, 150 мВ. В данном случае, $R_A \cdot I_{AH} = 0,075 \text{ В} = 75 \text{ мВ}$.
- Цена деления шкалы амперметра до присоединения шунта: $C_A = \frac{I_{AH}}{N_H} = \frac{5}{100} = 0,05$
- [А/дел],
- после присоединения шунта: $C_A = \frac{I_{AH}}{N_H} = \frac{50}{100} = 0,5$
- [А/дел].

- Расширение пределов измерения приборов может также осуществляться путем использования трансформатора тока ТА (рис. 5) и трансформатора напряжения TV (рис. 7), которые преобразуют большие токи и напряжения соответственно в токи и напряжения стандартной величины (5 А и 100 В).

- Пример №2.
- Измерить переменный ток $I = 90 \text{ A}$ амперметром с пределом измерения $I_{AH} = 5 \text{ A}$. Шкала амперметра имеет $N_H = 100$ делений.
- Решение: чтобы амперметром A , имеющим предел измерения 5 A , измерить переменный ток $I = 90 \text{ A}$, необходимо подключить его к обмотке трансформатора тока ТА с коэффициентом трансформации $K = 100/5 = 20$. (Рис. 5)

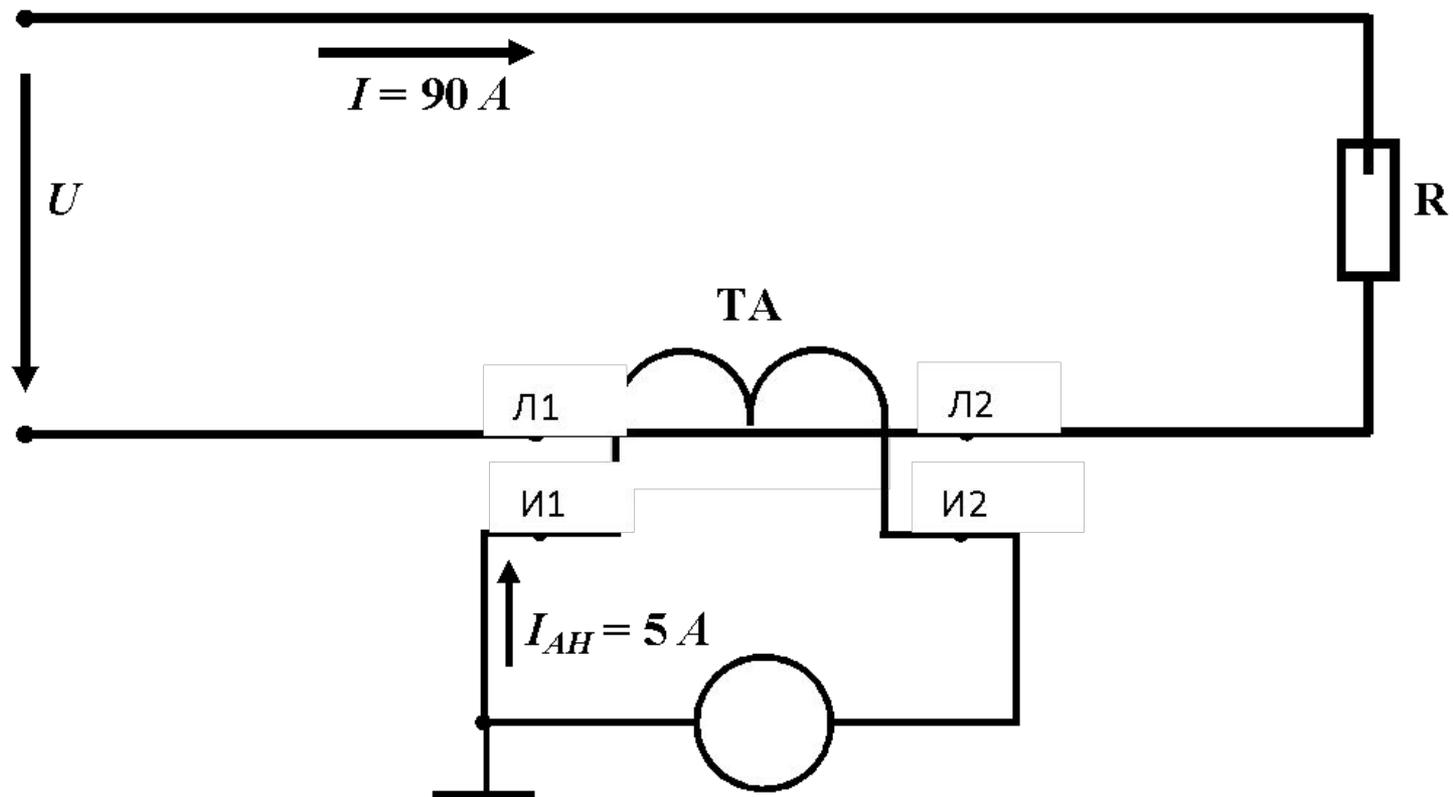


Рис. 5. Схема измерения тока I с помощью амперметра A через трансформатор тока $ТA$.

- При токе $I = 90 \text{ A}$ стрелка амперметра отклонится на:

$$N = \frac{I}{C_A} = \frac{90}{1} = 90 \text{ дел.}$$

Измерение напряжения

- Для измерения величины напряжения на любом участке электрической цепи параллельно к нему включают вольтметр V , считая, что $R_{\text{д}}$ отсутствует в цепи (рис. 6). Параллельное включение вольтметра V в измеряемую цепь обусловлено тем, что его внутреннее сопротивление R_V очень большое (в идеале $R_V = \infty$). Следовательно, наличие его в цепи никак не сказывается на истинном значении измеряемого напряжения U (ток, протекающий через вольтметр $I_V = 0$), следовательно,
 - $U_V = R \cdot I_R = R \cdot I$, при $I_V = 0$.

- Для расширения предела измерения вольтметра V в цепях напряжением до 500 В обычно применяют добавочное сопротивление R_D , включенное последовательно с обмоткой вольтметра V . (Рис. 6) По ГОСТу добавочные сопротивления изготавливают на номинальные токи $0,02 \div 30 \text{ мА}$, которые не должны превышать максимально допустимого тока прибора, равного $I_V = \frac{U_V}{R_V}$.

Расширение диапазона вольтметра

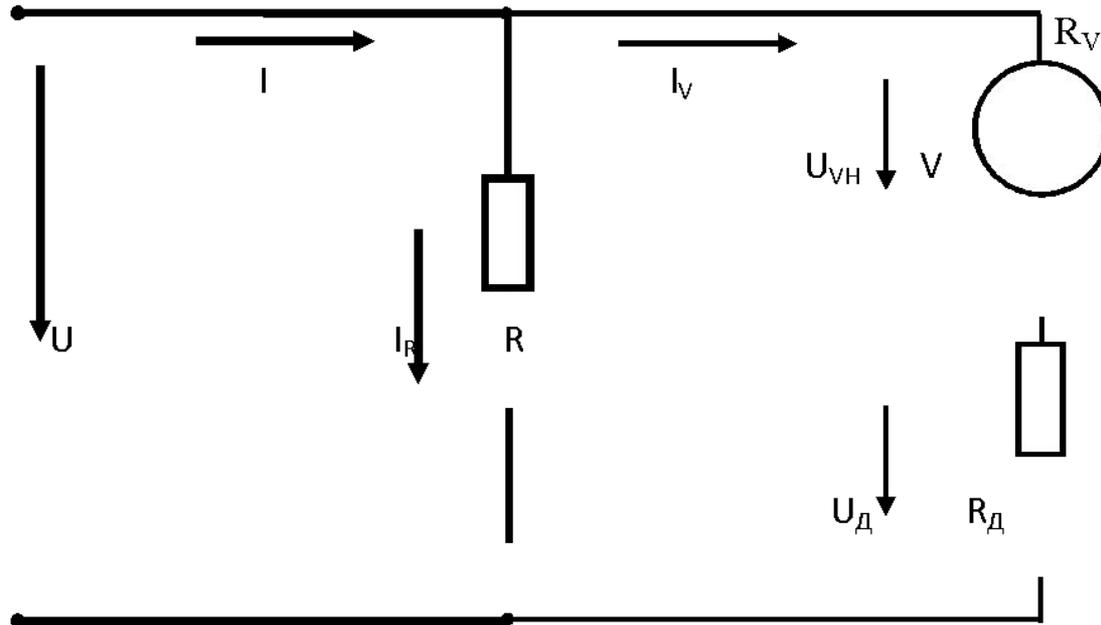


Рис. 6. Схема включения добавочного сопротивления R_D к вольтметру V .

- Пример №3.
- Как измерить вольтметром с пределом измерения $U_{вн} = 150 \text{ В}$ напряжение постоянного тока $U = 220 \text{ В}$, если внутреннее сопротивление вольтметра $R_v = 8000 \text{ Ом}$.
- Решение: чтобы расширить пределы измерения вольтметра при постоянном токе, необходимо подключить последовательно к нему добавочное сопротивление R_d .
- Напряжение $U_d = U - U_{вн} = 220 - 150 = 70 \text{ В}$.

- Падение напряжения на участке последовательной цепи пропорционально сопротивлению этого участка:

$$\frac{U_{Д}}{U_{ВН}} = \frac{R_{Д}}{R_{V}}, \text{ так как } I_{V} = \frac{U_{Д}}{R_{Д}} = \frac{U_{ВН}}{R_{V}},$$

$$R_{Д} = \frac{U_{Д}}{U_{ВН}} \cdot R_{V} = \frac{70}{150} \cdot 8000 = 3733 \text{ Ом.}$$

Измерительный трансформатор

- Пример №4. В однофазной цепи переменного тока требуется измерить напряжение $U = 5000 \text{ В}$ вольтметром с пределом измерения $U_{\text{ВН}} = 100 \text{ В}$ и с числом делений шкалы $N_H = 50$ делений.
- Решение: чтобы расширить пределы измерения вольтметра V при переменном токе, необходимо включить его через измерительный трансформатор с коэффициентом трансформации $K = 6000/100 = 60$.
- Цена деления вольтметра без трансформатора напряжения: $\frac{U_{\text{ВН}}}{N_H} = \frac{100}{50} = 2 \text{ В/дел}$

***СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ !***