

# Основные принципы электричества



# Цели

К концу этого курса вы должны:

Уметь объяснить, что такое напряжение и ток.

Понимать важность коэффициента мощности для потребностей двигателя.

Знать различие между трехфазным и однофазным током.

Уметь использовать законы Ома и Кирхгофа.

Принимать во внимание сходства между

# Электричество

Фундаментальным составляющим любой материи является атом.



# Электричество

Основные составляющие атома:

Протон имеет положительный заряд 1.00 и прочно связан с ядром атома.



# Электричество

## Основные составляющие атома:

Электрон имеет отрицательный заряд 1.00 и вращается вокруг ядра. Хотя электрон и притягивается положительно заряженным ядром, его центробежная сила служит противовесом этому притяжению.



# Электричество

Основные составляющие атома:

И нейтрон, имеющий заряд "0", также находится в ядре.



# Электричество

Основные составляющие атома:

Протон имеет такой же заряд, как электрон,  
но примерно в 1836 раз тяжелее





# Электричество

У атома есть 3 части

Какие?

Как заряжена каждая из них?

# Электричество

Электроны вращаются вокруг ядра по разным орбитам. Чем ближе они расположены к ядру, тем сильнее они к нему притягиваются. Электроны, которые находятся на самом удаленном расстоянии, меньше притягиваются к ядру и их легче удалить.



# Электричество

Энергии достаточно, чтобы разорвать связь между электроном и ядром, и этот электрон может перейти к соседнему атому. Эти передвижения электронов называются **поток**ом электронов.



# Электричество

**Электричество – это поток электронов в цепи от точки высокого потенциала к точке низкого потенциала.**

**Единица измерения этого потенциала - вольт.**

**Сила тока – это величина потока в цепи, обычно выраженная в Амперах.**

**Для того, чтобы создать электрический ток, необходимо иметь замкнутую цепь и наличие разности потенциалов.**



# Электричество

**Электричество – это поток электронов в цепи от точки высокого потенциала к точке низкого потенциала.**

**Единица измерения этого потенциала - вольт.**

**Сила тока – это величина потока в цепи, обычно выраженная в Амперах.**

**Для того, чтобы создать электрический ток, необходимо иметь замкнутую**

Отметьте сходства с механическими системами

Поток жидкости в скважине проходит между высоким и низким давлением.

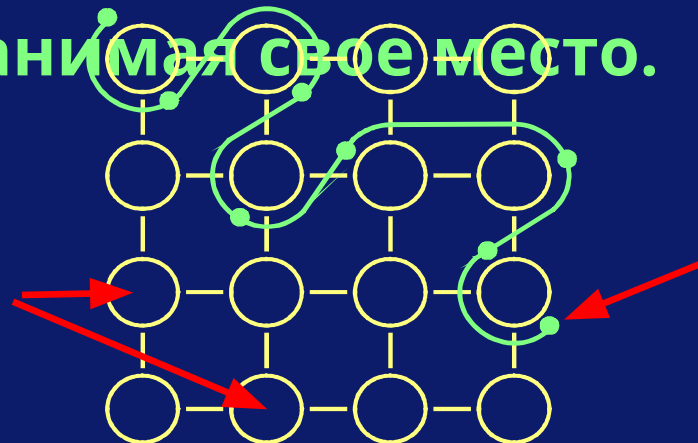
Электрический ток – поток пластовой жидкости

Чтобы жидкости дотечь до поверхности, все клапаны должны быть открыты –

# Электричество

Электроны двигаются, переходя от одного атома к другому. Когда электрон двигается, он оставляет за собой отверстие, через которое проходит электрон, движущийся позади, занимая свое место.

Проводящие атомы в матрице



Путь электрона

# Электричество

**Напряжение** – разница потенциалов в цепи, обычно выражаемая в Вольтах. Для существования напряжения нет необходимости в замкнутой цепи.

Например, в автомобильном аккумуляторе разница между терминалами  $\pm 12V$ , но электрический ток не возникнет, если не подсоединить батарею к замкнутой цепи.



# Первая цель!!!

- Одна из ранее поставленных целей – объяснить что такое напряжение и электрический ток!
- Напряжение - это .....
- Электрический ток - это .....



# Электричество

Относительно электричества, существуют два основных материала:

Проводники

Диэлектрики

# Электричество

Вид проводника:

Ток



Поводник  
(изолированный кабель)

# Электричество

Еа самом деле нет четкого отличия между проводника и диэлектриками.

Проводник – это материал, довольно хорошо. Медь и алюминий достаточно хорошие проводники.

Другие материалы, такие как серебро, золото и платина, имеют лучшие проводниковые свойства, но очень дорого стоят.

# Электричество

**Диэлектрик – это просто материал, который не очень хорошо проводит электричество.**

**Примеры диэлектриков: бумага, стекло и различные виды пластмасс.**

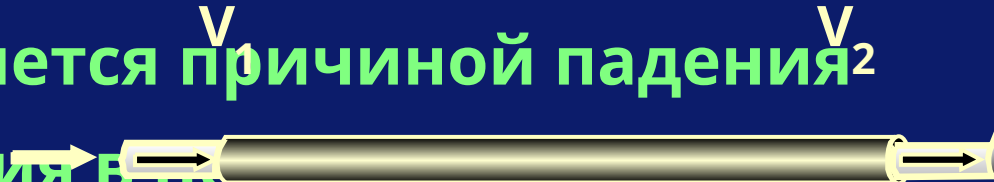
# Электричество

Из-за того, что ни один проводник не имеет 100% эффективность, всегда будет присутствовать сопротивление электрическому потоку.

Обычно это сопротивление выражается в Омах и оно является причиной падения

напряжения в цепи.

Ток



Поводник  
(изолированный кабель)

$$V_1 > V_2$$

# Цепи постоянного тока

Падение напряжения возможно рассчитать, используя закон Ома, который гласит:

$$V = I \times R$$

Очень важное правило

Где:

V = напряжение в вольтах

I = сила тока в амперах

R = сопротивление в Омах

# Цепи постоянного тока

Например, если сила тока 20 А и сопротивление 11 Ом, падение напряжения в цепи будет 220 В.

$$V = 20 \times 11 = 220V$$

# Цепи постоянного тока

Если падение напряжения 155В и  
сопротивление

5 Ом, то силу тока можно рассчитать  
следующим образом:

$$I = \frac{V}{R}$$
$$= \frac{155}{5}$$

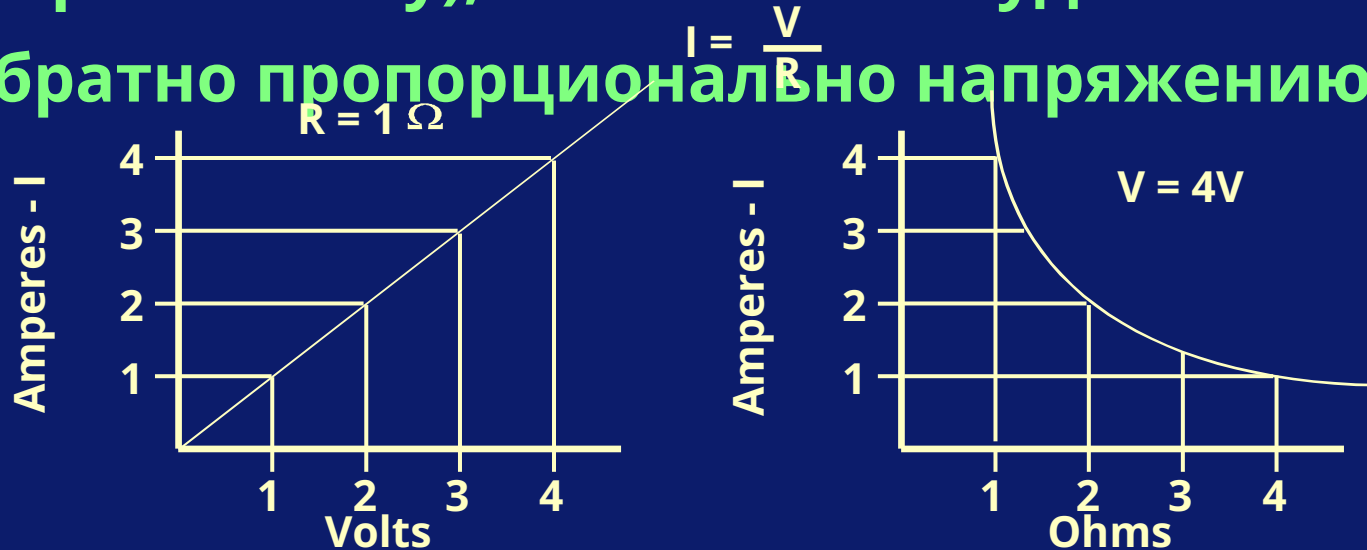
$$= 31\text{A}$$



# Цепи постоянного тока

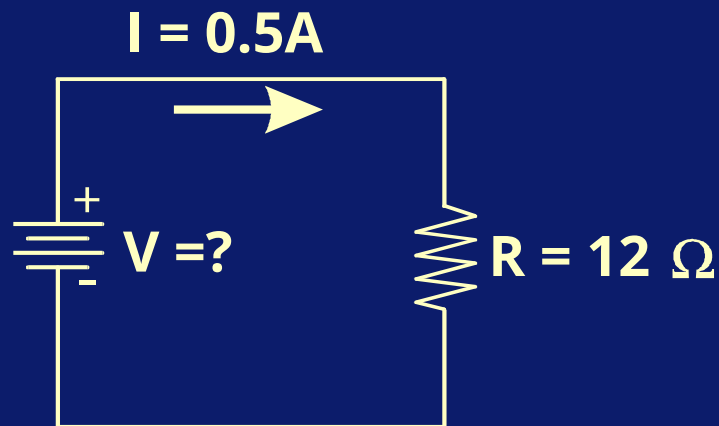
Нижний левый график показывает, что если сопротивление постоянно, то сила тока будет меняться пропорционально напряжению.

С другой стороны, если напряжение постоянно (справа внизу), то сила тока будет изменяться обратно пропорционально напряжению.



# Цепи постоянного тока

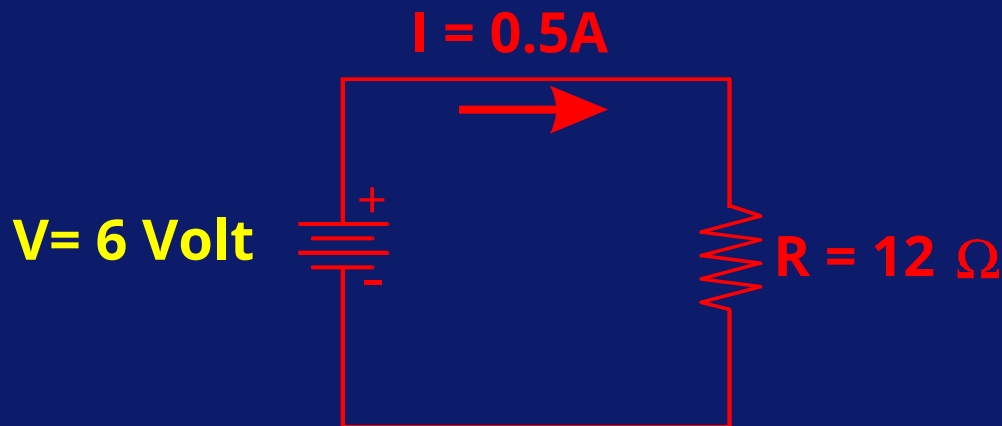
Например, какое напряжение в данной цепи?



# Цепи постоянного тока

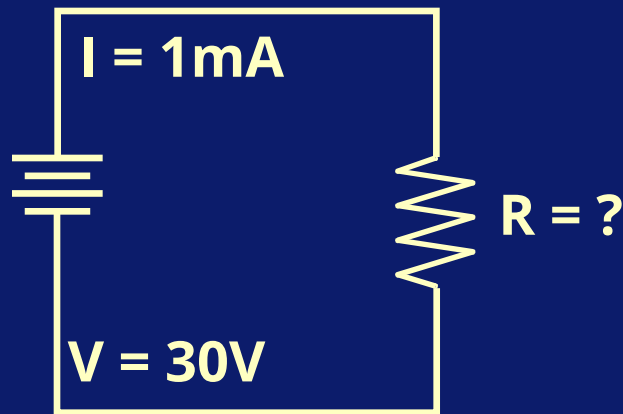
Напряжение можно рассчитать как:

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ &= 0.5 \times 12 \\ &= 6 \text{ Volts} \end{aligned}$$



# Цепи постоянного тока

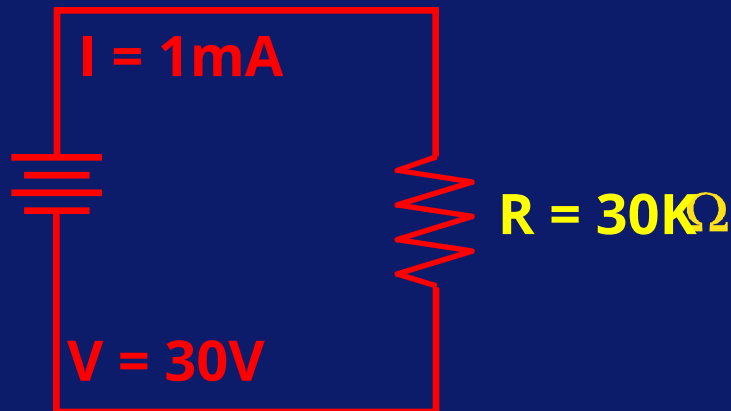
Какое напряжение в этой цепи?



# Цепи постоянного тока

Напряжение можно вычислить как:

$$R = \frac{V}{I}$$
$$= \frac{30}{0.001} = 30 \text{ K}\Omega$$



# Цепи постоянного тока

Сопротивление в замкнутой цепи производит тепловой эффект.

Это тепло – это работа или энергия, потребляемая цепью. Эта энергия – выработка напряжения и силы тока, выраженная в ВА или КВА для больших значений.

$$KVA = \frac{V * I}{1000}$$

КВА вычисляется как:

# Цепи постоянного тока

КВА – моментальная энергия в цепи.

Для энергии постоянного тока напряжение и сила тока неизменны. В этом случае потребляемая энергия, КВ, будет такая же как

$P=80 \text{ VA}$   
КВА.

$V=10 \text{ Volt}$

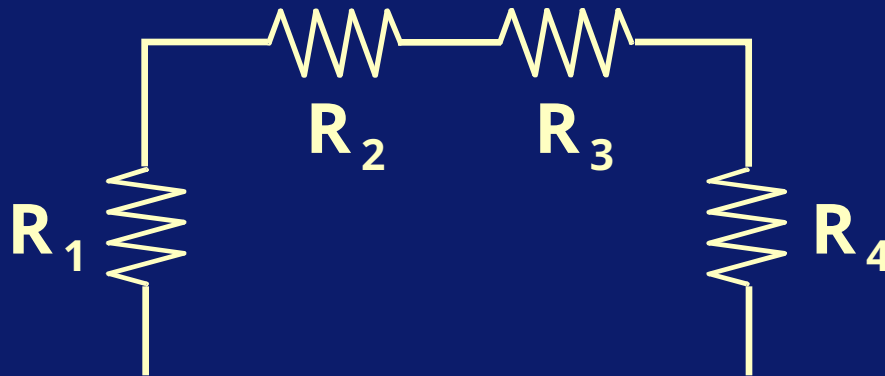
$I=8 \text{ Amp}$



# Цепи постоянного тока

Если 3 или 4 резистора соединены последовательно, то эквивалентное сопротивление будет просто составлять сумму этих сопротивлений.

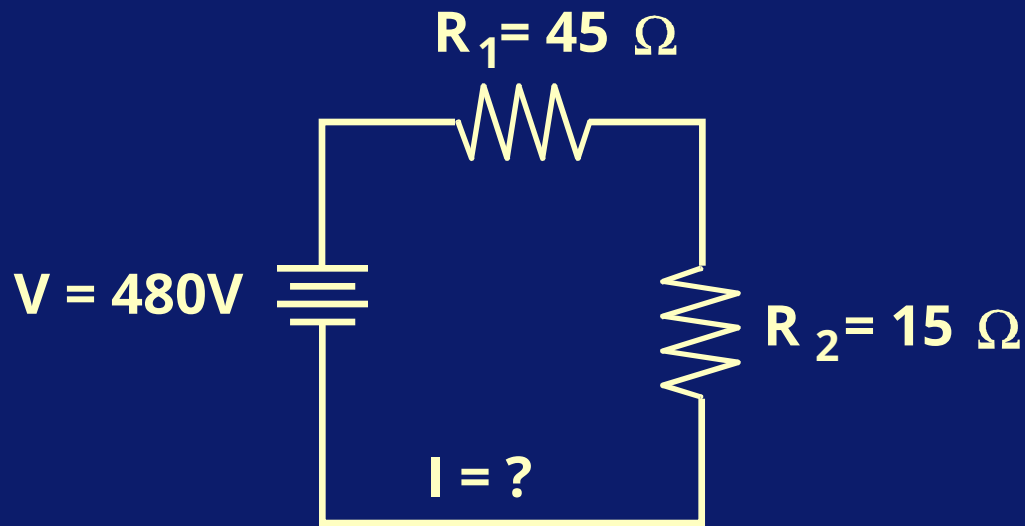
$$R_{\text{Eq}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$$





# Цепи постоянного тока

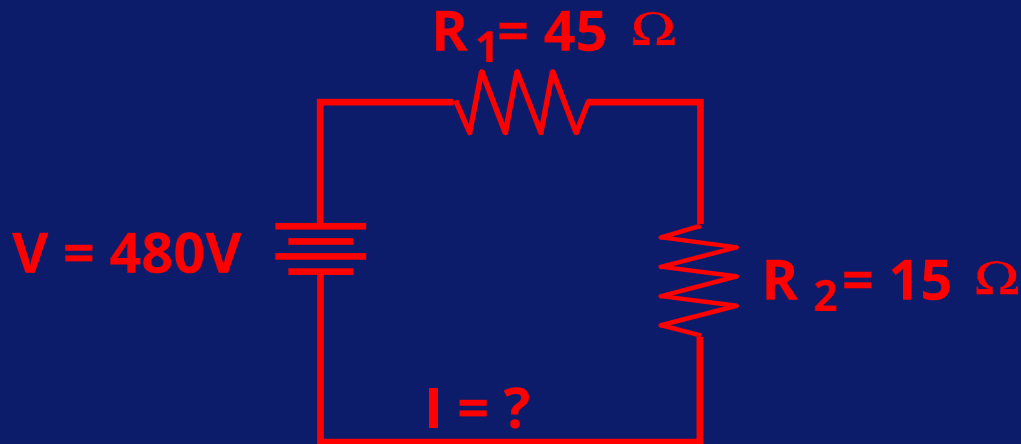
Какая сила тока в этой цепи?



# Цепи постоянного тока

Сначала мы должны вычислить эквивалентное сопротивление:

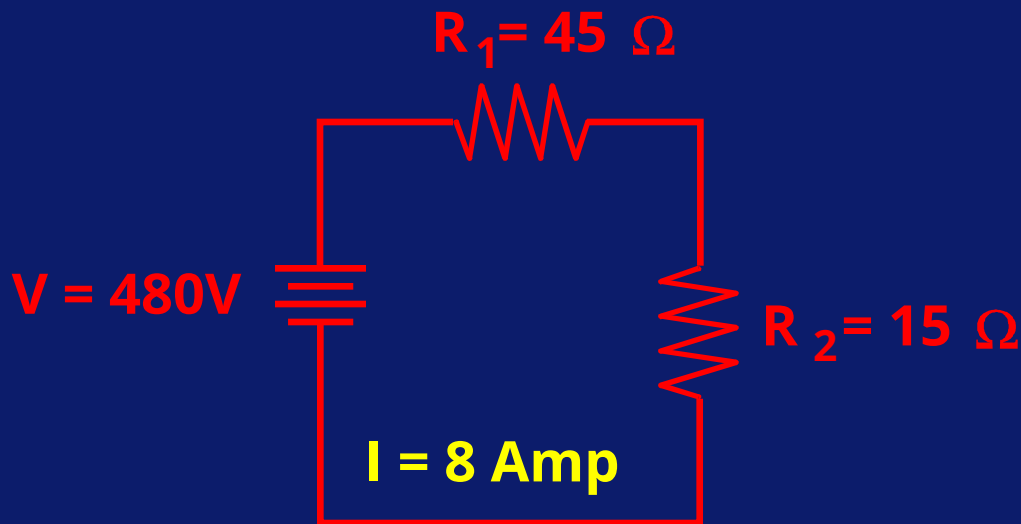
$$\begin{aligned} R_{\text{Eq}} &= R_1 + R_2 \\ &= 15 + 45 = 60\Omega \end{aligned}$$



# Цепи постоянного тока

С этим эквивалентным сопротивлением мы можем вычислить силу тока:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{480}{60} = 8A$$



# Цепи постоянного тока

Когда резисторы соединены параллельно, то эквивалентное сопротивление можно вычислить, используя закон Кирхгофа.

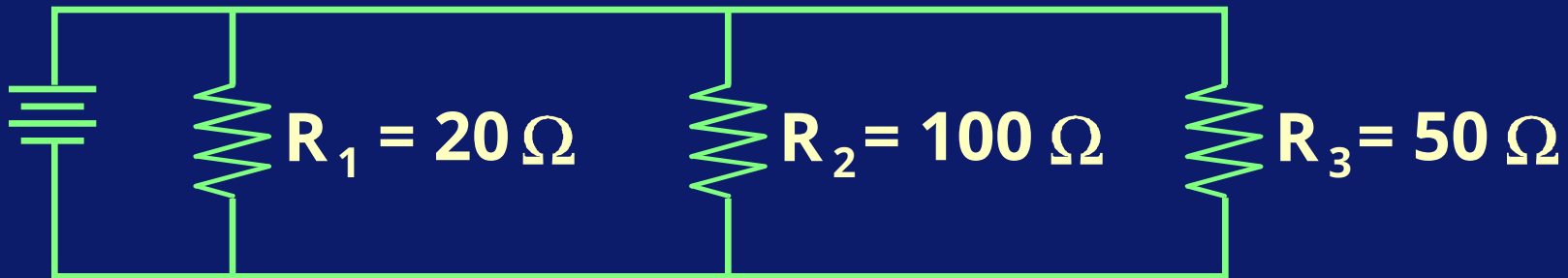
$$R_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$



# Цепи постоянного тока

Например, вот эквивалентное сопротивление показанной цепи:

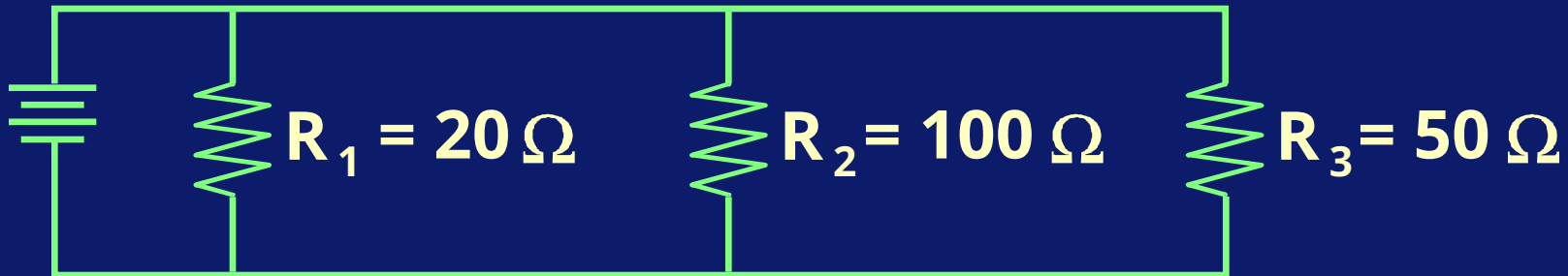
$$R_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{100} + \frac{1}{50}} = 12.5 \Omega$$



# Цепи постоянного тока

Заметьте, что эквивалентное сопротивление меньше, чем каждое из индивидуальных сопротивлений. Это всегда будет верно.

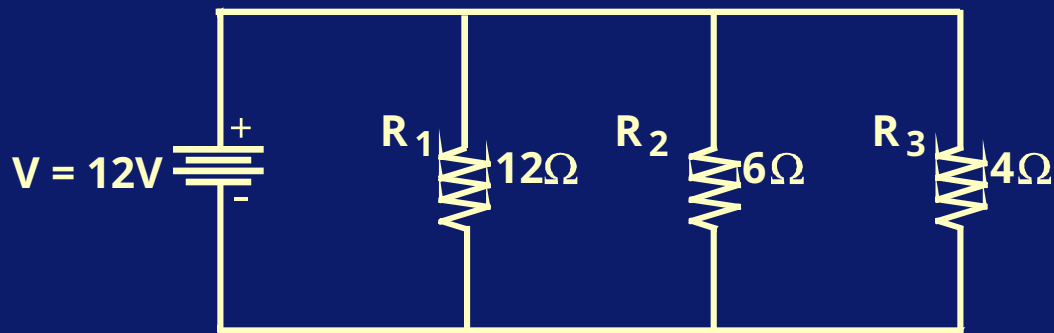
$$R_{\text{Eq}} = 12.5 \Omega$$



# Цепи постоянного тока

Эквивалентное сопротивление данной цепи составляет 20 Ом.

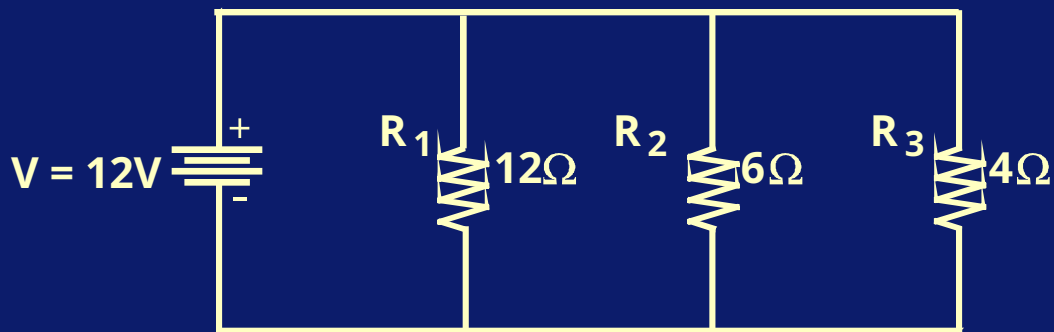
$$R_{\text{Eq}} = \frac{1}{\frac{1}{12} + \frac{1}{6} + \frac{1}{4}} = 2 \Omega$$



# Цепи постоянного тока

Общая сила тока таким образом будет 6 А.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{2} = 6A$$





# Цепи постоянного тока

Из-за того, что резисторы соединены параллельно, падение напряжения на каждом резисторе будет

12 В.

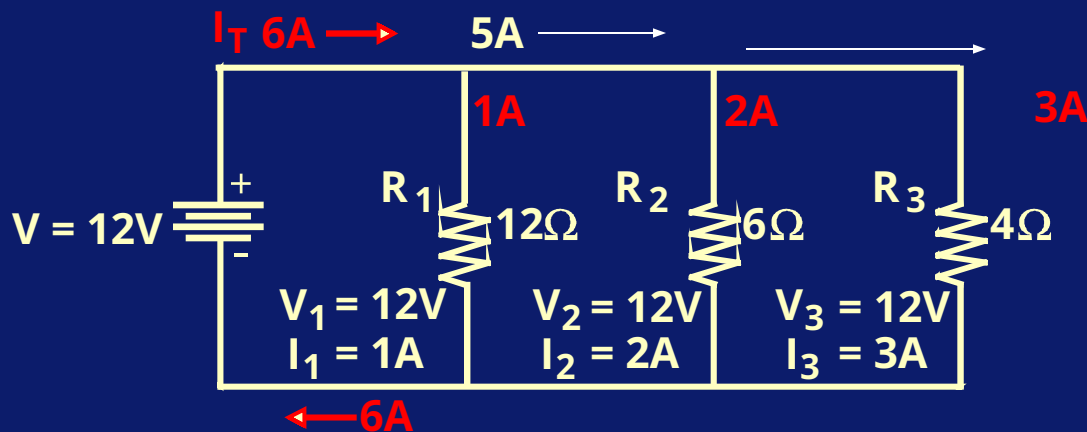
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{12}{12} = 1\text{А}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{12}{6} = 2\text{А}$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{12}{4} = 3\text{А}$$

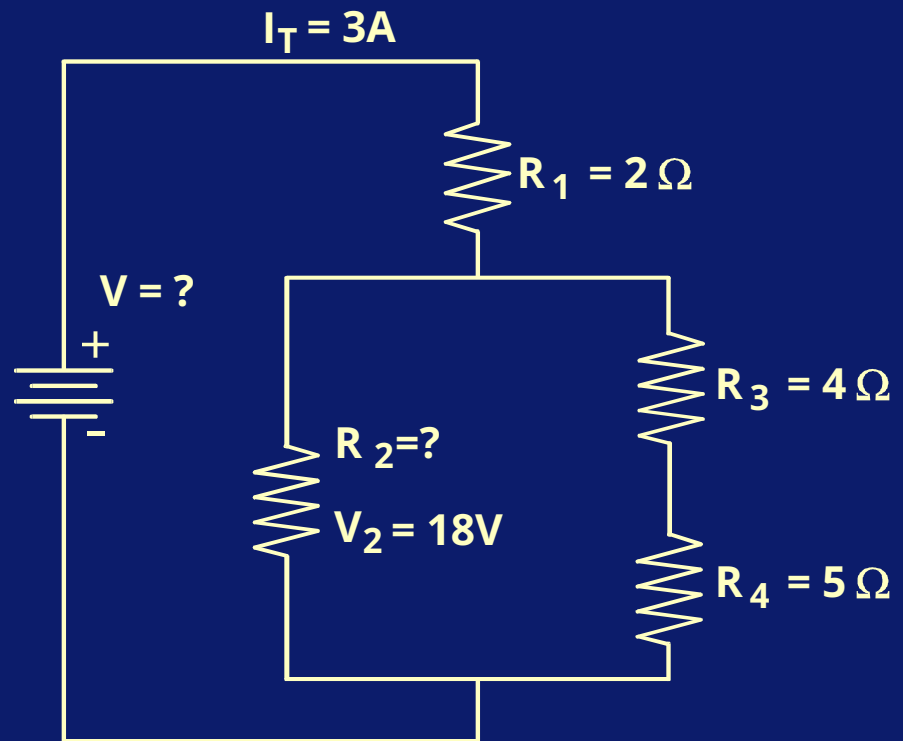
# Цепи постоянного тока

Заметьте, что сумма отдельных общей их сумме. Это всегда будет верно.



# Цепи постоянного тока

Каким является  
сопротивление  $R_2$  в  
этой цепи и какое  
общее падение  
напряжения для всей  
цепи?



# Цепи постоянного тока

Так как падение

напряжения через R2

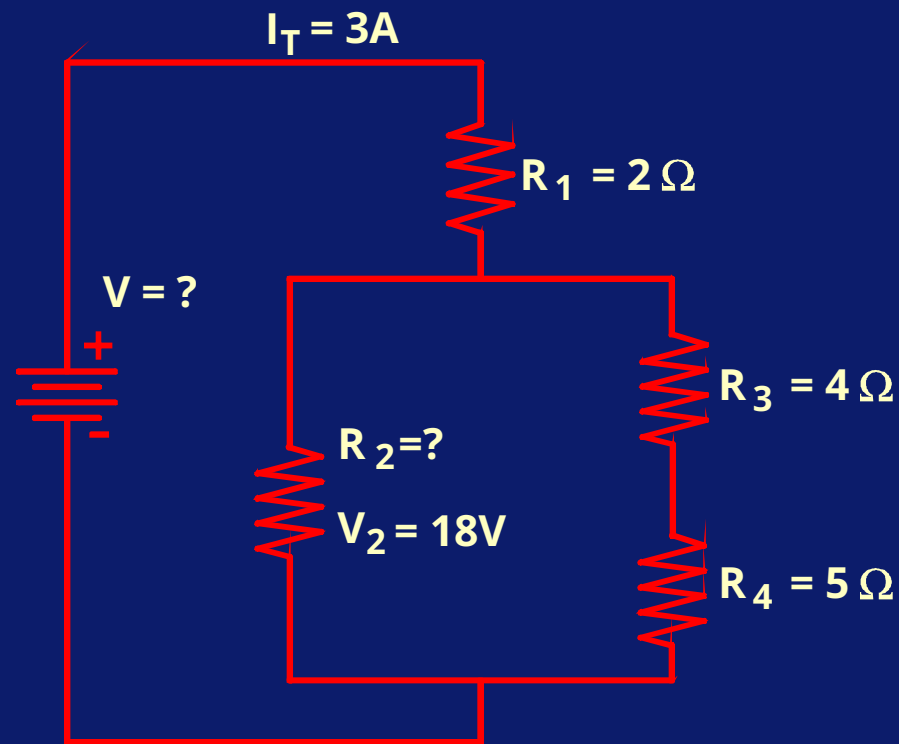
составляет 18V, то

падение напряжения

через R3 и R4 тоже

$$R_{\text{Eq}} = R_3 + R_4 = 4 + 5 = 9 \Omega$$

$$I_{3/4} = \frac{18}{9} = 2A$$

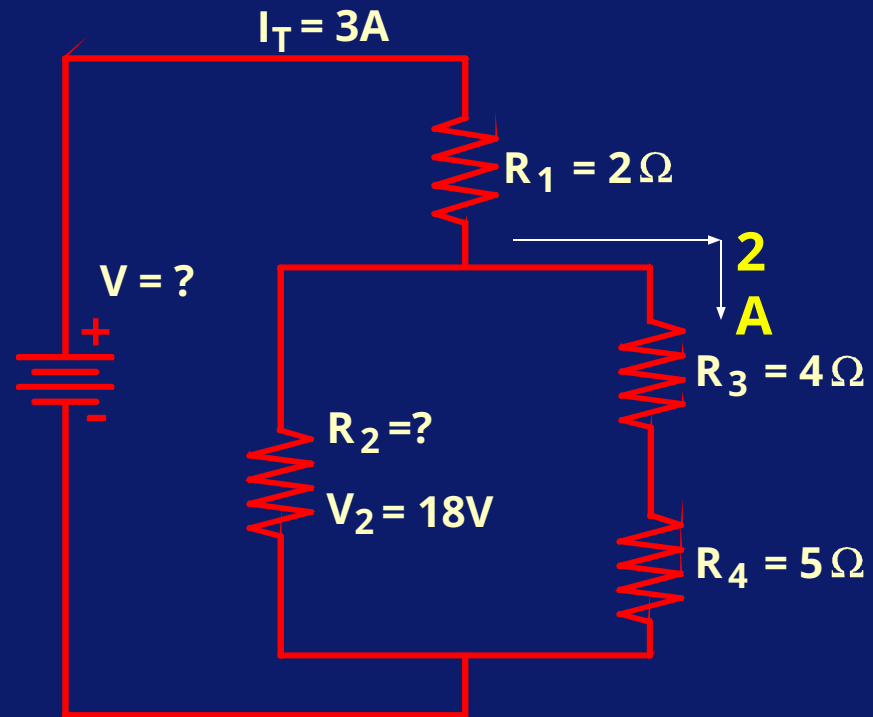


# Цепи постоянного тока

Все, что входит в цепь,  
должно из нее выйти.

Общая сила тока  
составляет 3А и сила  
тока через R3 и R4 =  
2А. Таким образом,

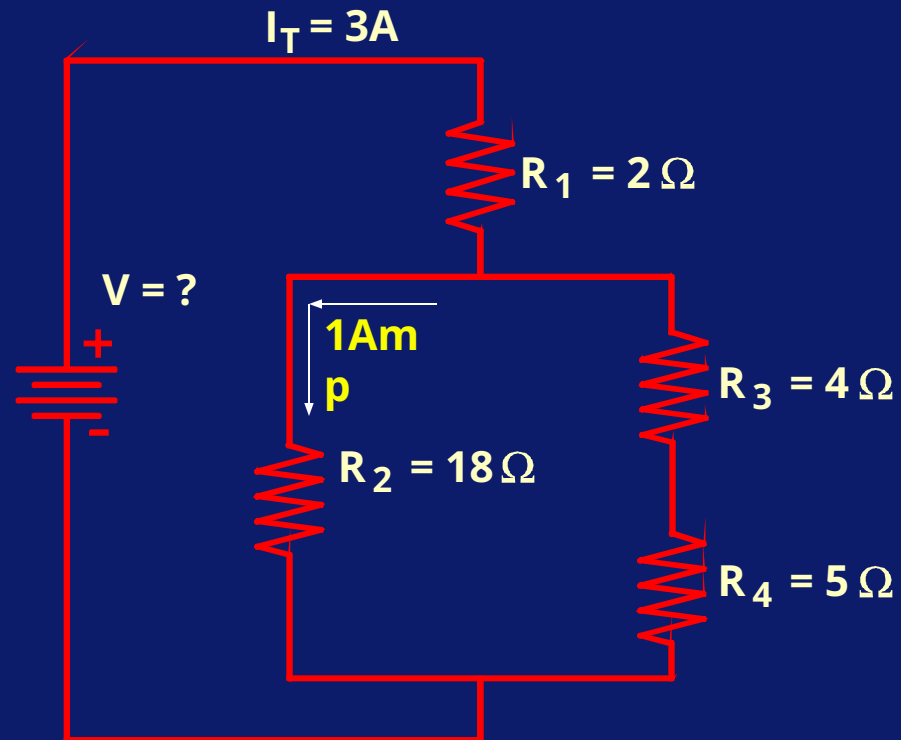
сила тока через R2  
должна быть 1А.  
 $I_2 = I_{Total} - I_{3/4} = 3 - 2 = 1A$



# Цепи постоянного тока

Теперь можно вычислить сопротивление R2.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{18}{1} = 18 \Omega$$

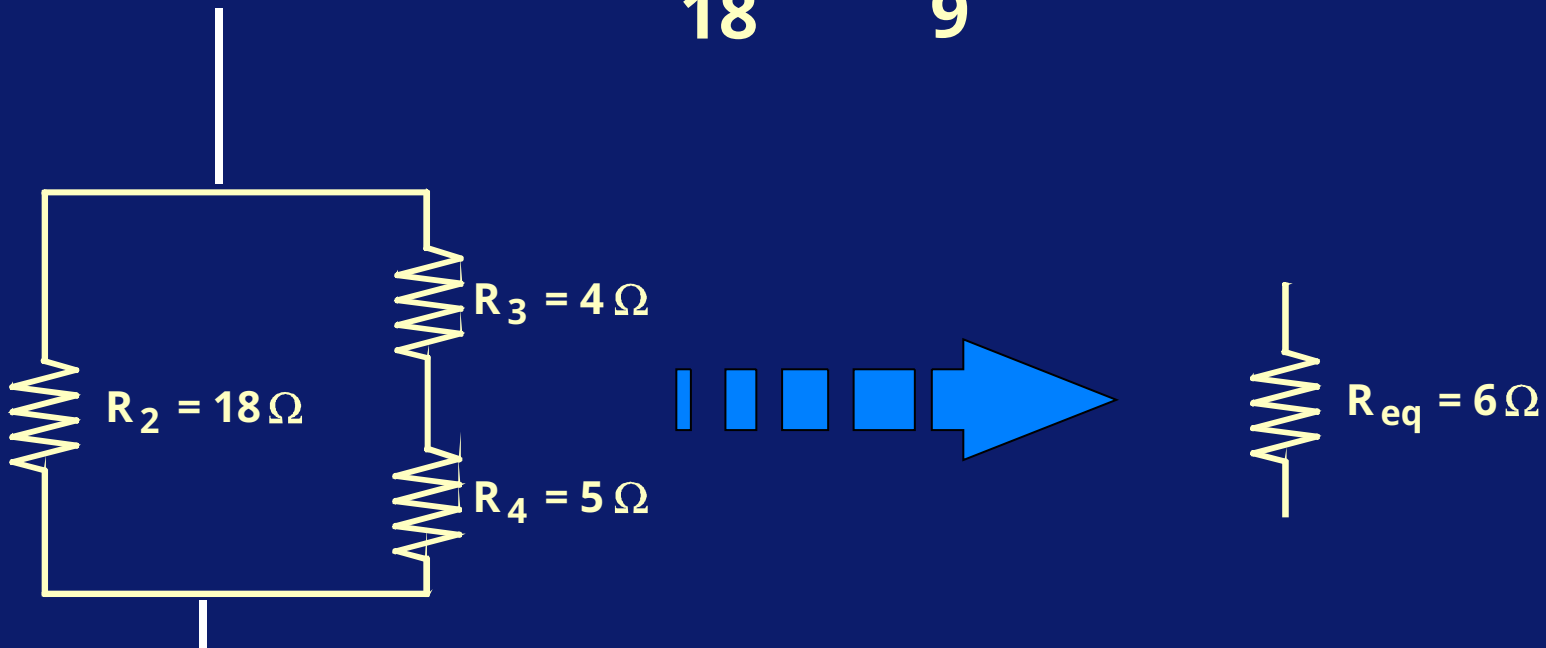


# Цепи постоянного тока

Рассматривая только эту часть цепи, можно создать эквивалентную схему.

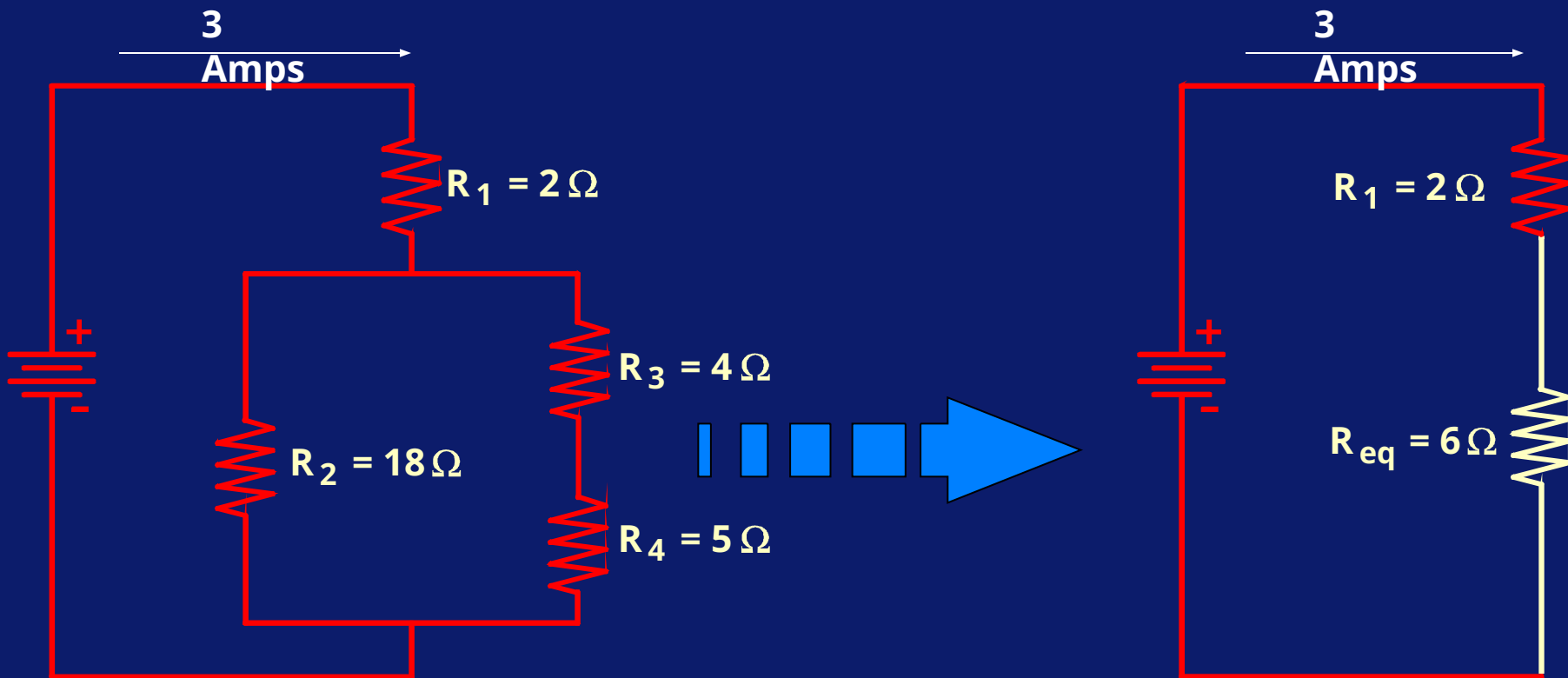
Эквивалентное сопротивление  $R_3$  и  $R_4$  вместе = 9 Ohms.

$$R_{Eq} = \frac{1}{\frac{1}{18} + \frac{1}{9}} = 6 \Omega$$



# Цепи постоянного тока

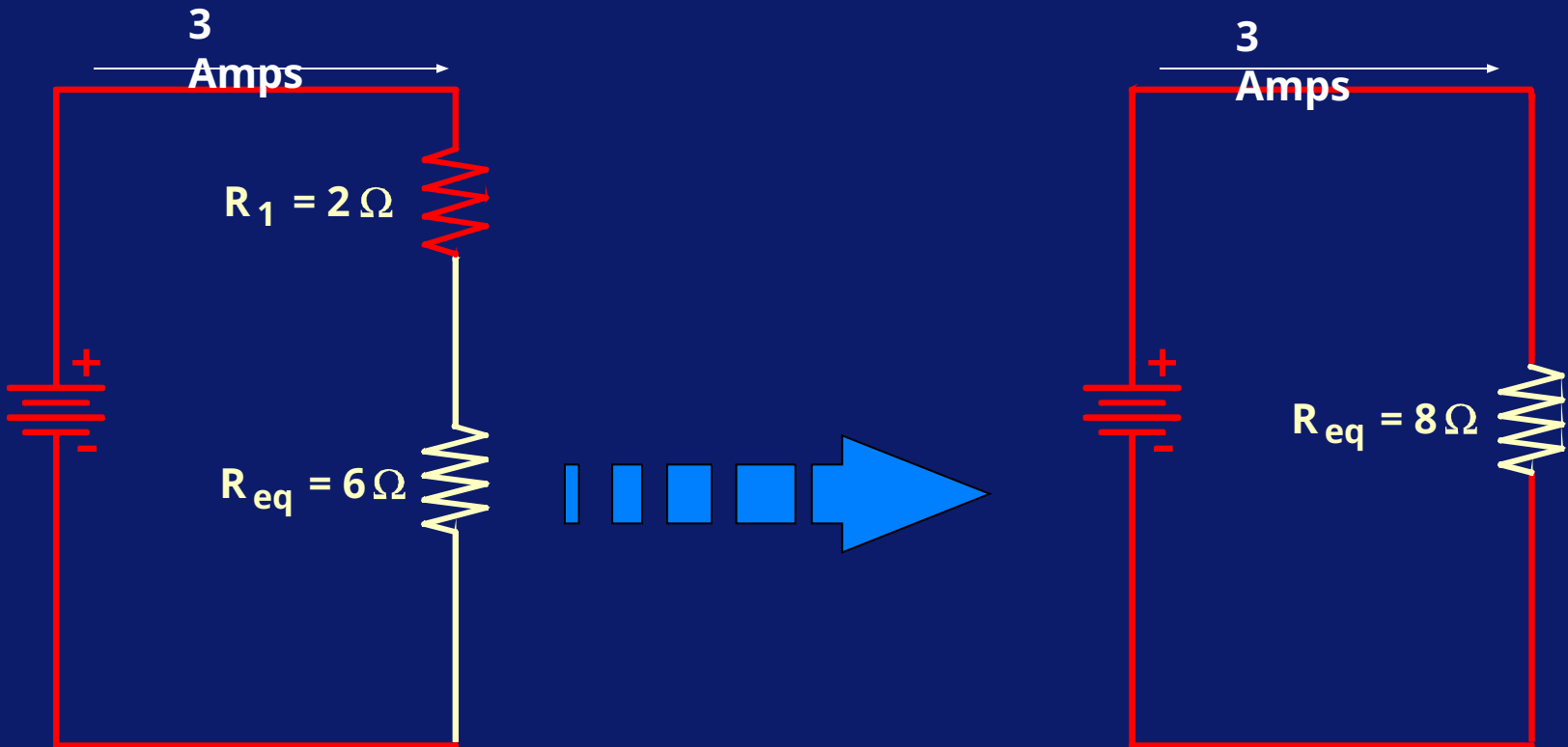
Более простая схема:





# Цепи постоянного тока

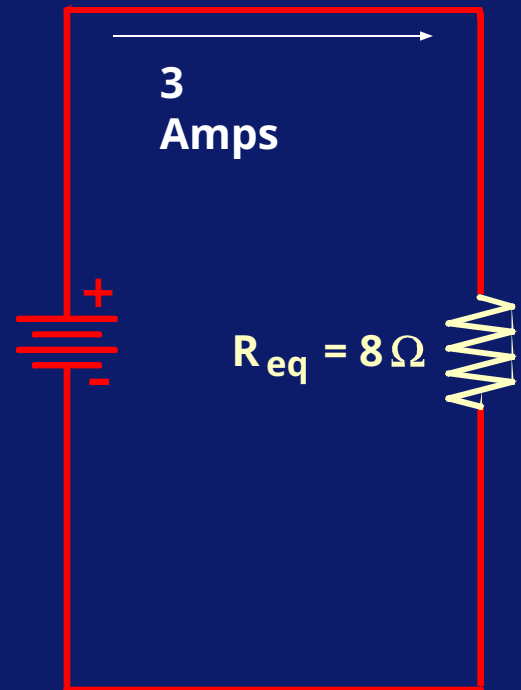
Эту цепь можно дальше упростить с одним резистором 8 Ом.



# Цепи постоянного тока

Сейчас можно вычислить общее падение напряжения системы.

$$V = I \times R = 3 \times 8 = 24 \text{ Volts}$$

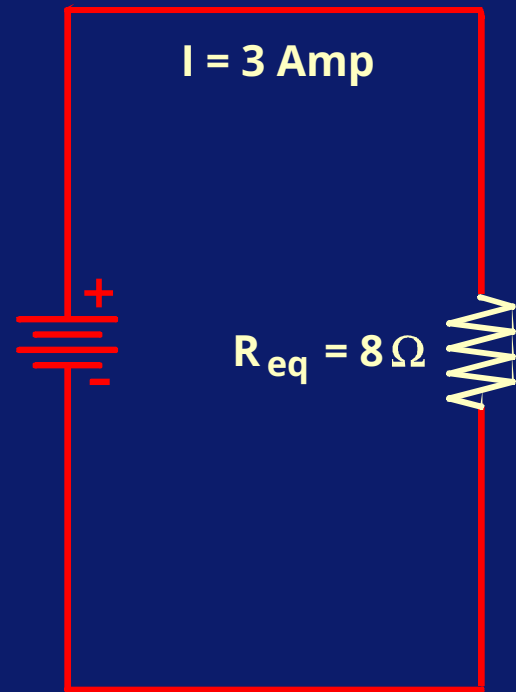


# Цепи постоянного тока

Также можно вычислить кажущуюся мощность цепи.

$$P = I \times V = 3 \times 24 = 72 \text{ VA}$$

$V = 24$   
Volt

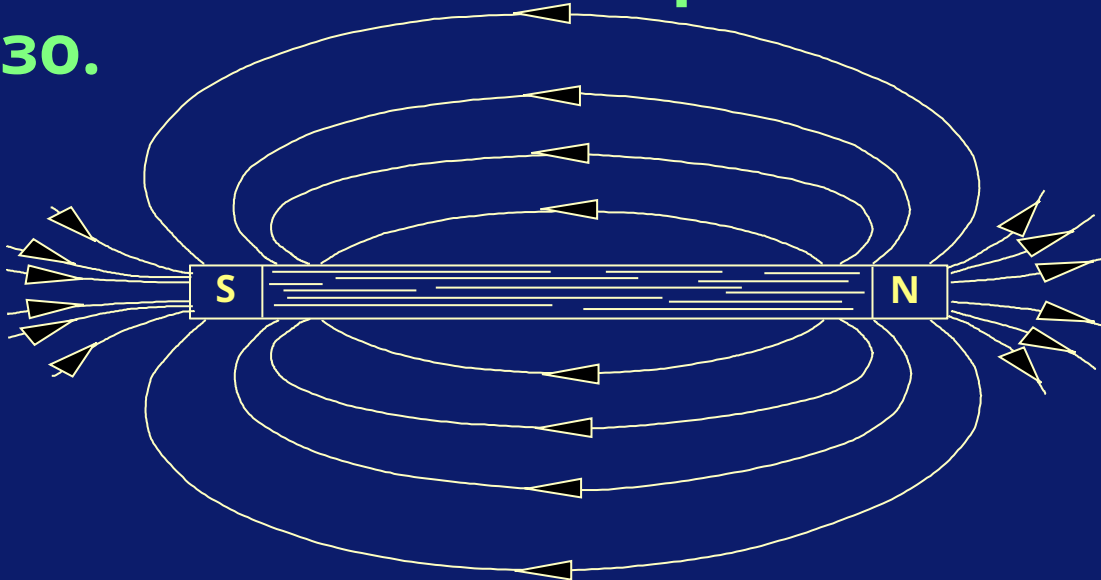


# Электричество и магнетизм

# Электричество и магнетизм

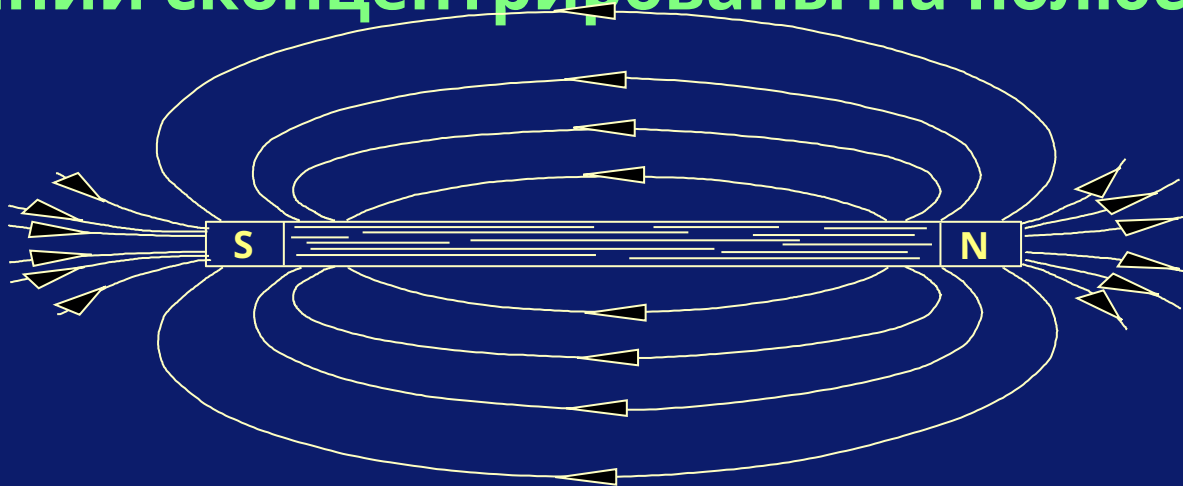
**Электричество и магнетизм тесно взаимосвязаны.**

**Это простой магнитный брусок с северным и южным полюсами, который изготовлен из ферромагнитного материала, такого как железо.**



# Электричество и магнетизм

Силовое поле существует вокруг магнита, соединяя два полюса. Эту силу можно мысленно представить линиями магнитного потока, как это показано на картинке. Эти линии сконцентрированы на полюсах.



# Электричество и магнетизм

**Это поле сильно около самого магнита и ослабляется при удалении. Интенсивность силового поля представлена в количестве линий магнитного потока.**

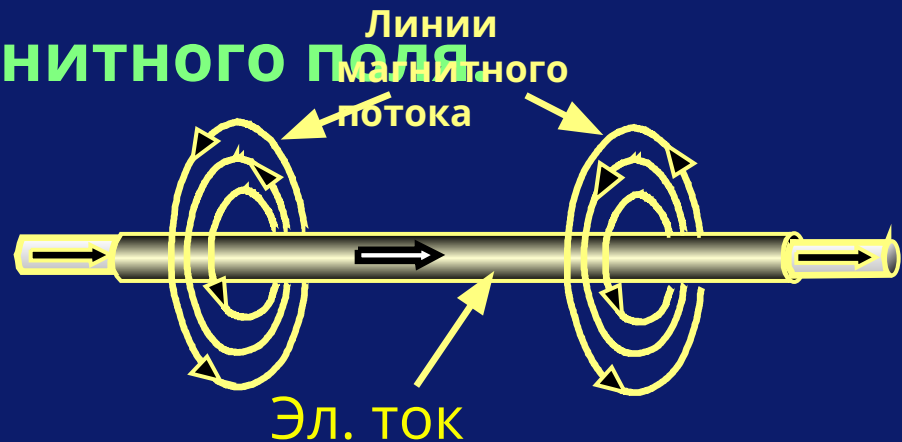
**Количество линий уменьшается при удалении.**

**Эти линии всегда исходят из северного полюса и обрываются на южном**

# Электричество и магнетизм

Оказывается, что электрический ток, проходя по проводу, создает магнитное поле вокруг этого провода и это поле перпендикулярно направлению электрического потока.

Даже хотя нет очевидных «полей», отметьте направление магнитного поля





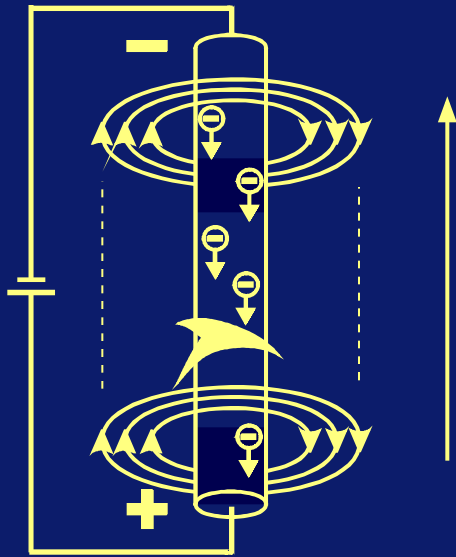
# Электричество и магнетизм

Если ток меняет направление и идет в другом,  
то магнитное поле тоже меняет направление.



# Электричество и магнетизм

Здесь иллюстрируется простое правило для запоминания направления магнитного поля.



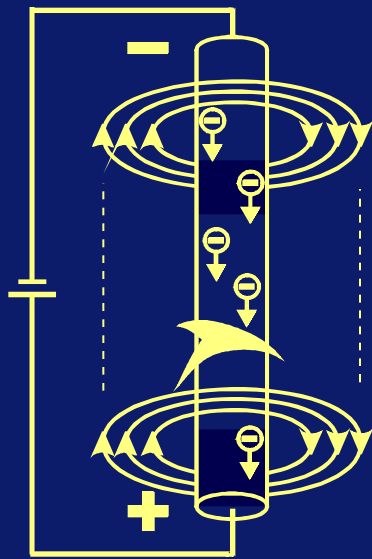
Направ-  
ление  
электрич  
еского  
тока



Правило  
правой руки

# Электричество и магнетизм

Заметьте, что направление электрического тока противоположно реальному движению электронов.



Направление  
электрического  
тока



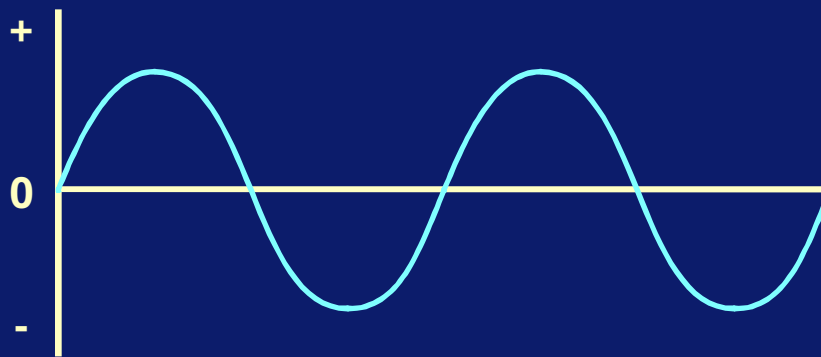
Правило  
правой руки

# Переменный ток

В предыдущих примерах рассматривался только постоянный ток.

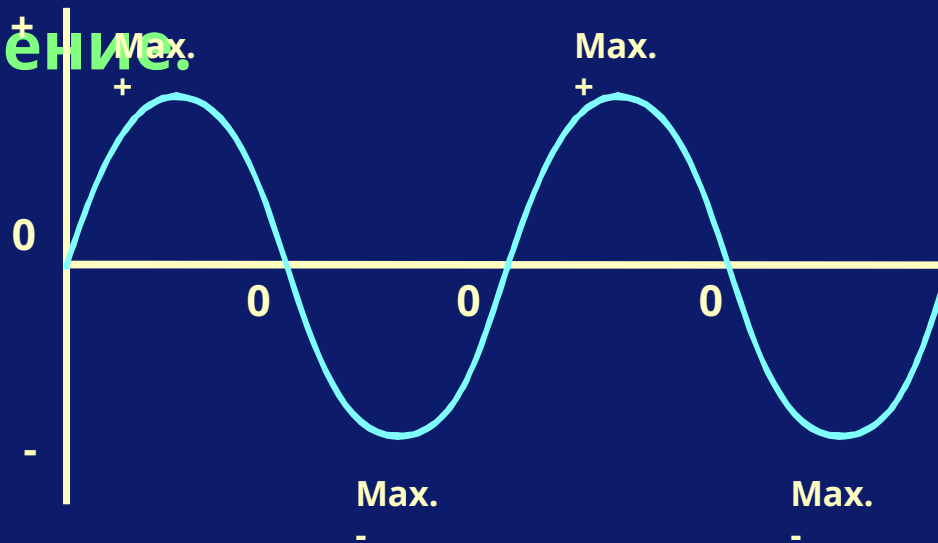
Другой очень распространенный тип тока – переменный ток.

При переменном токе, напряжение и сила тока не остаются постоянными с течением времени.



# Переменный ток

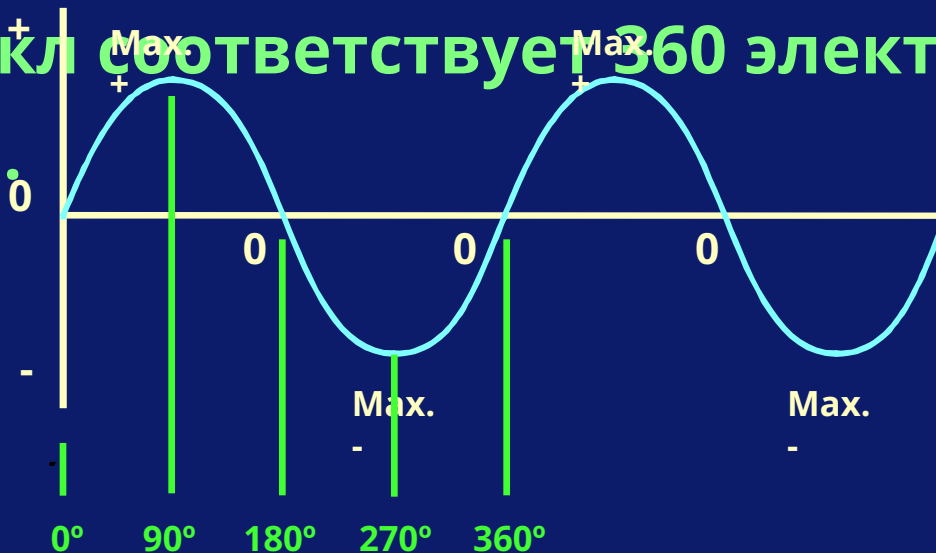
При переменном токе напряжение повышается до максимума и меняет свое направление, пока не достигнет максимального отрицательного значения, при котором оно снова меняет направление.



# Переменный ток

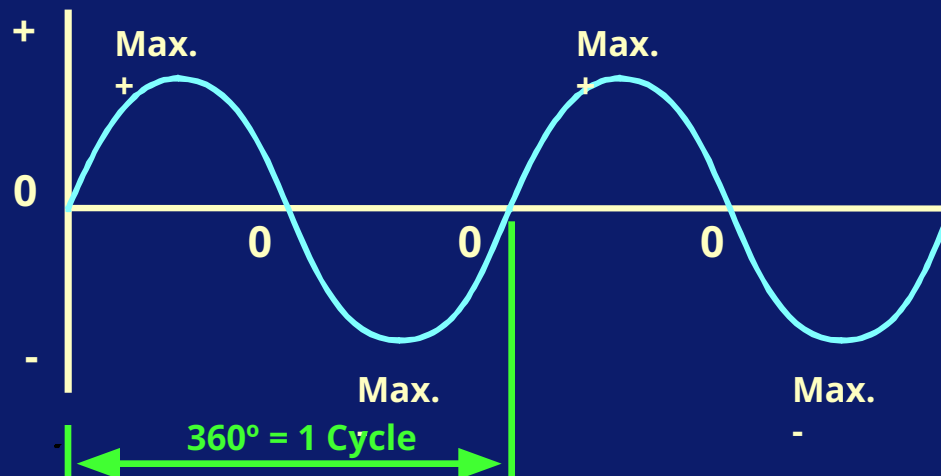
Всегда, когда волна проходит от положительного максимума через ноль до отрицательного максимума, это называется **ЦИКЛОМ**.

Каждый цикл соответствует 360 электрическим градусам.



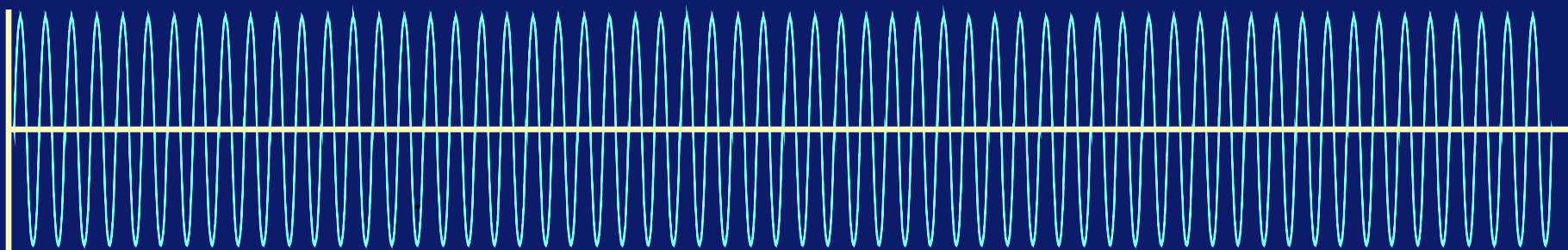
# Переменный ток

Количество циклов за одну секунду называется частотой и выражается в Герцах.

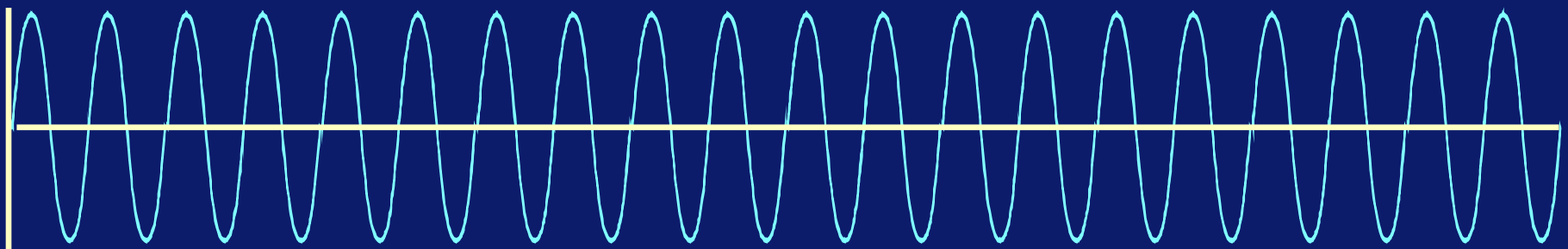


# Переменный ток

60 циклов = 60 Гц



20 циклов = 20 Гц



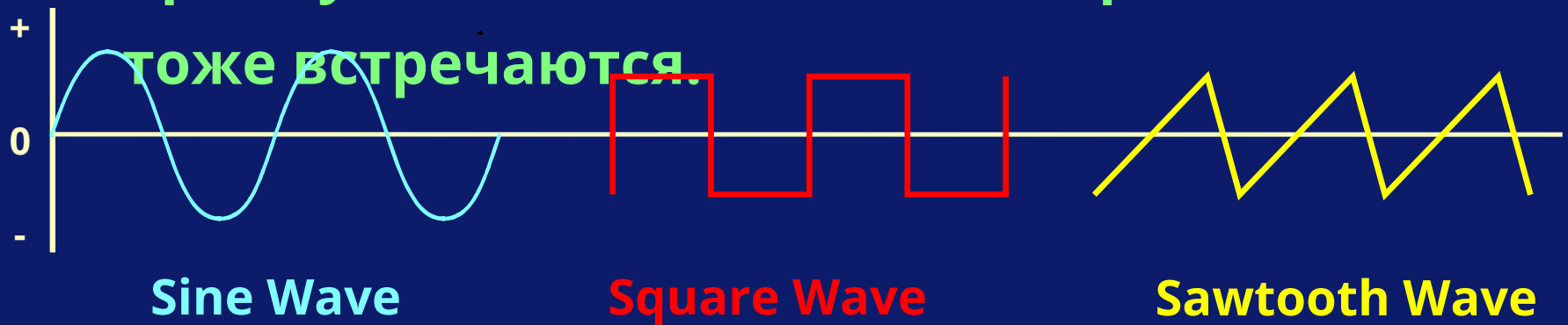
←—————Время, или период =—————→  
1сек



# Переменный ток

Переменный ток может являться волнами различной формы.

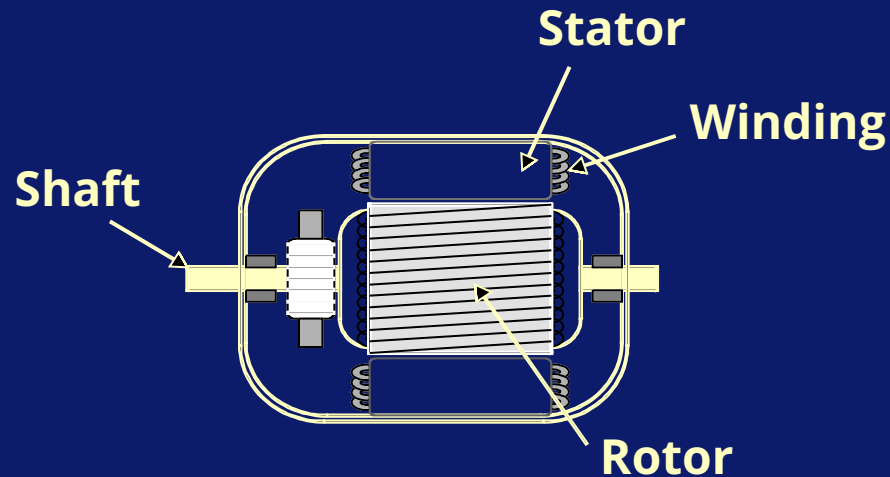
Самая часто встречающаяся форма волн – синусоидальная волна, хотя такие формы как прямоугольная волна и пилообразная волна тоже встречаются.



# Переменный ток

Итак, откуда берутся синусоидальные волны?

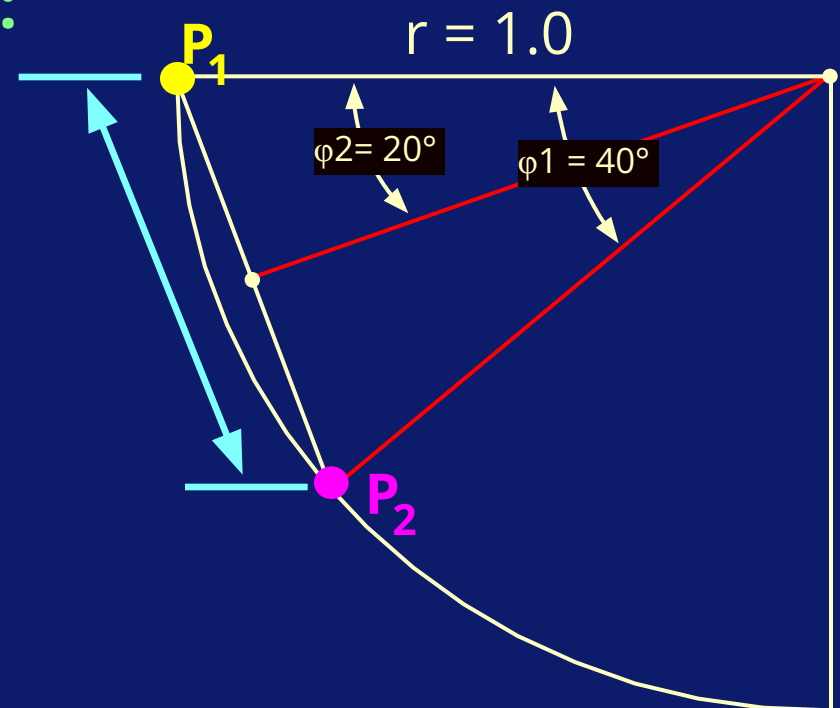
Такие волны происходят из геометрии генераторов.



# Переменный ток

Можно рассчитать расстояние между любыми двумя точками на окружности цепи по ниже приведенной формуле:

$$d = 2r \sin\left(\frac{\varphi_1}{2}\right)$$

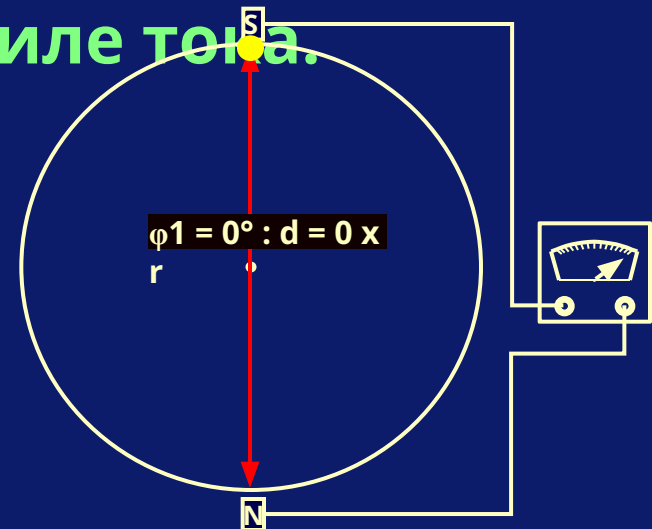


# Переменный ток

Расстояние между двумя совокупностями полюсов в любой точке времени (или пространства) будет пропорционально величине напряжения и силы тока.



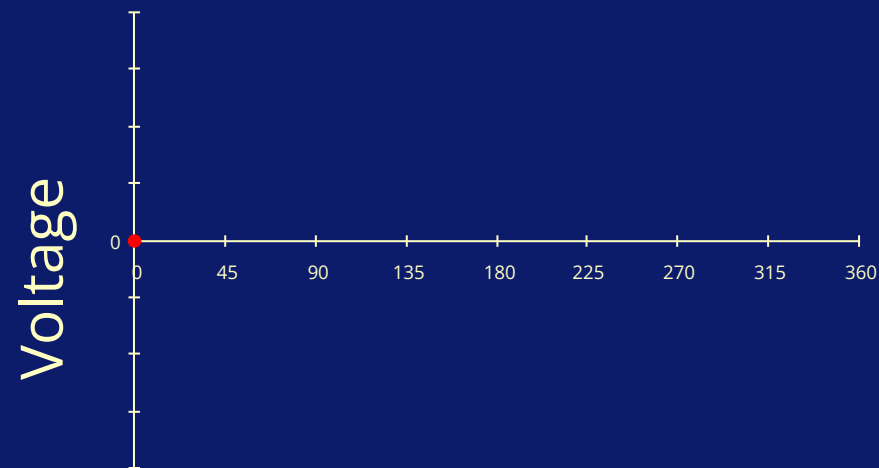
Когда два магнитных поля ротора параллельны магнитным полям статора, магнитные силы уравновешены и напряжение равно нулю.



Когда два магнитных поля ротора перпендикулярны магнитным полям статора, то напряжение максимально.

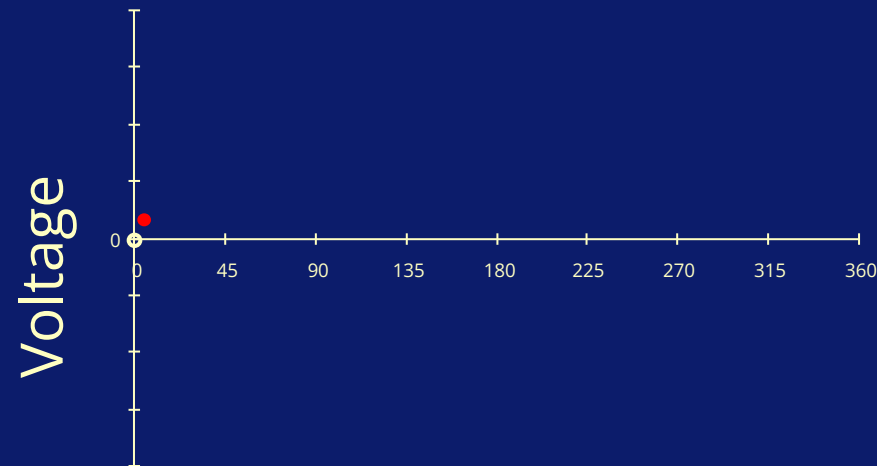
# Переменный ток

В этом положении влияние одного поля на другое минимально. Благодаря симметрии, силы уравновешены, и, как результат, нулевое напряжение.



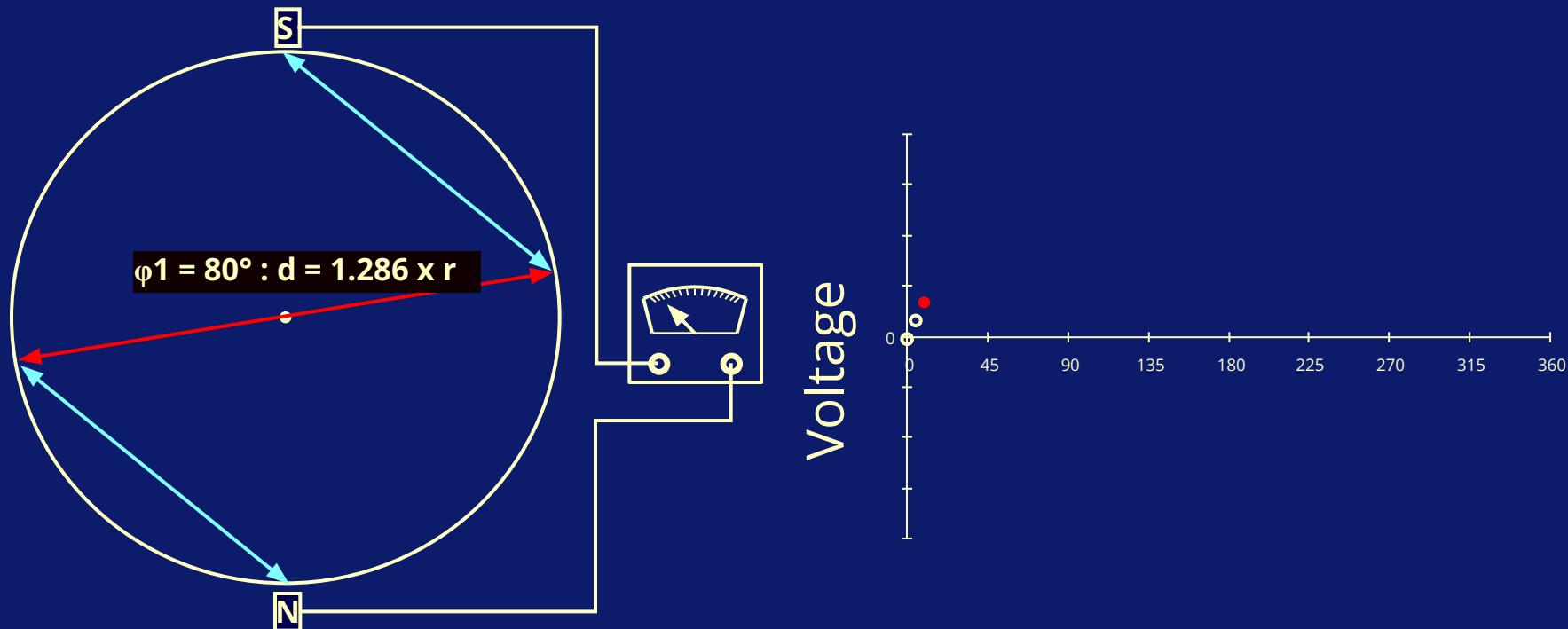
# Переменный ток

Когда ротор передвинулся в это положение, относительное движение стимулирует напряжение, но так как поля слабо влияют друг на друга, полученное напряжение будет мало.



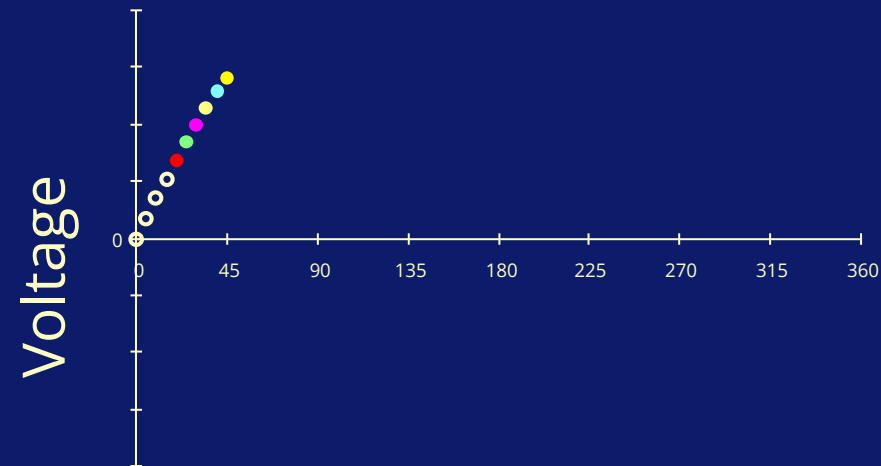
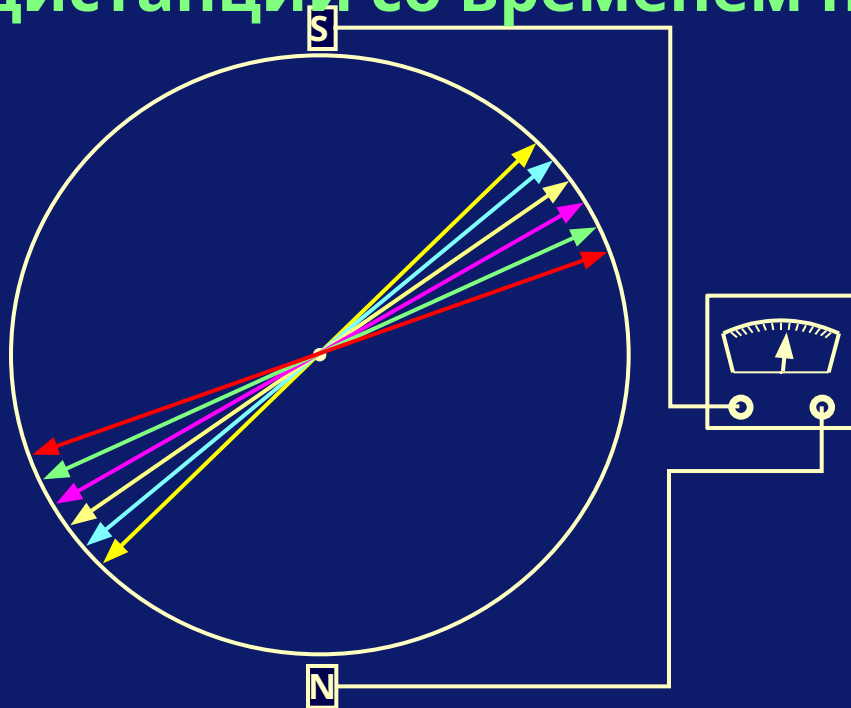
# Переменный ток

Здесь поля ротора немного ближе, поэтому результат будет немного больше.



# Переменный ток

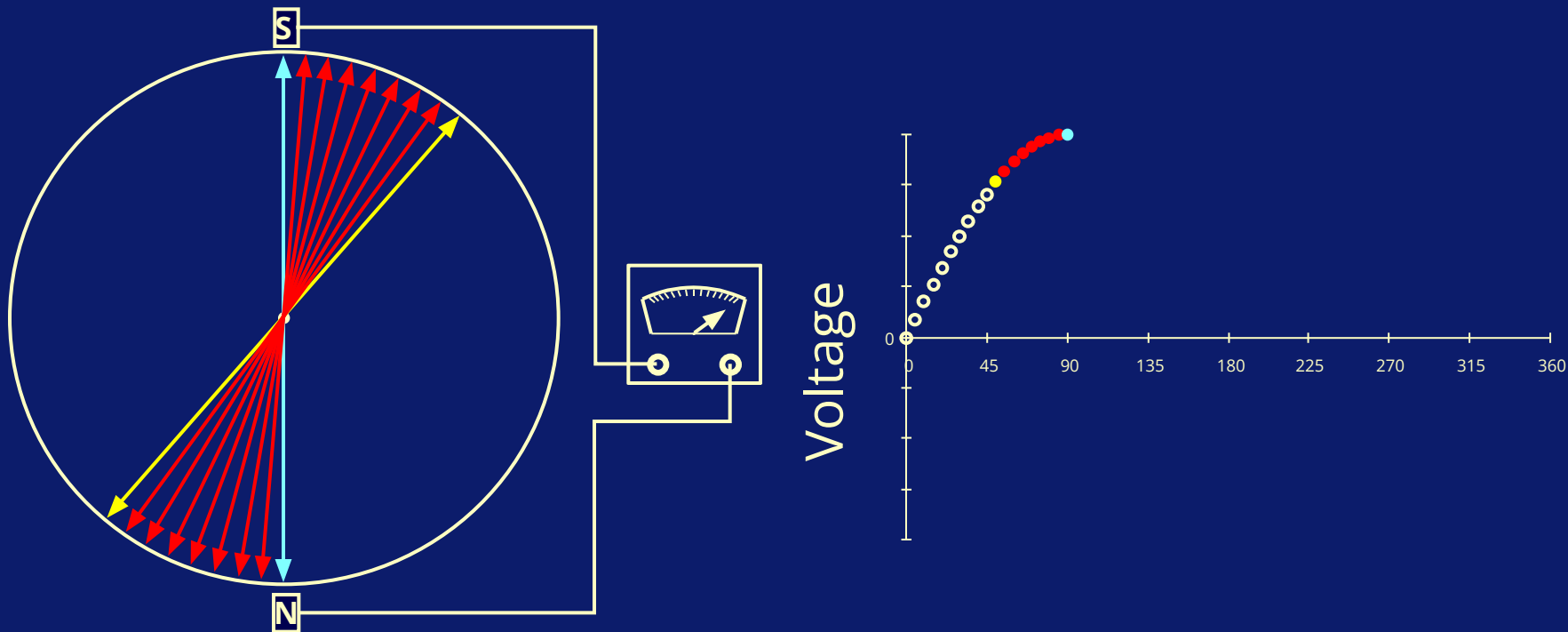
Помните, что напряжение пропорционально физическому расстоянию между двумя полюсами. Для хорошего вращательного движения ротора, изменение в этой дистанции со временем не станет линейным.





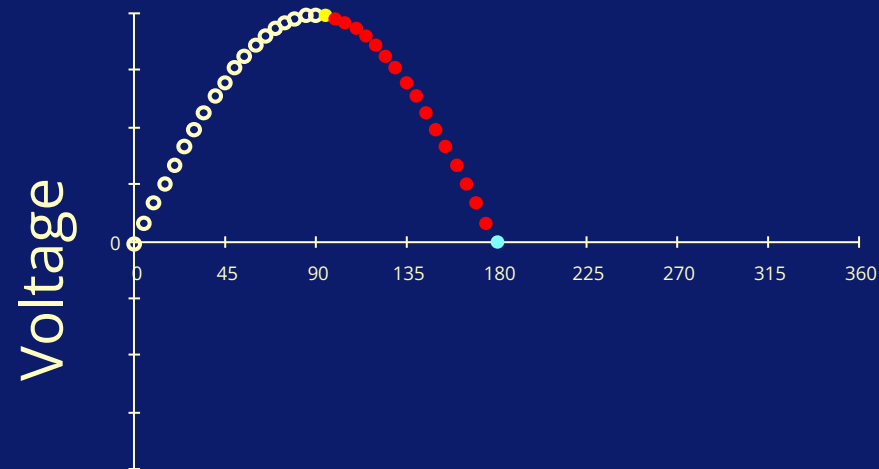
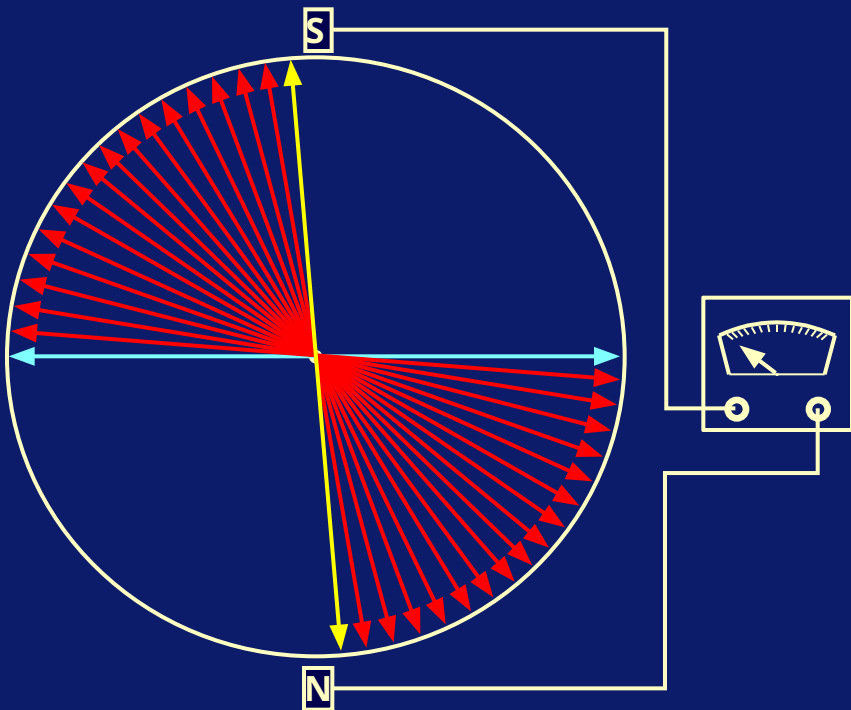
# Переменный ток

Напряжение не может стать выше, чем в этой точке.



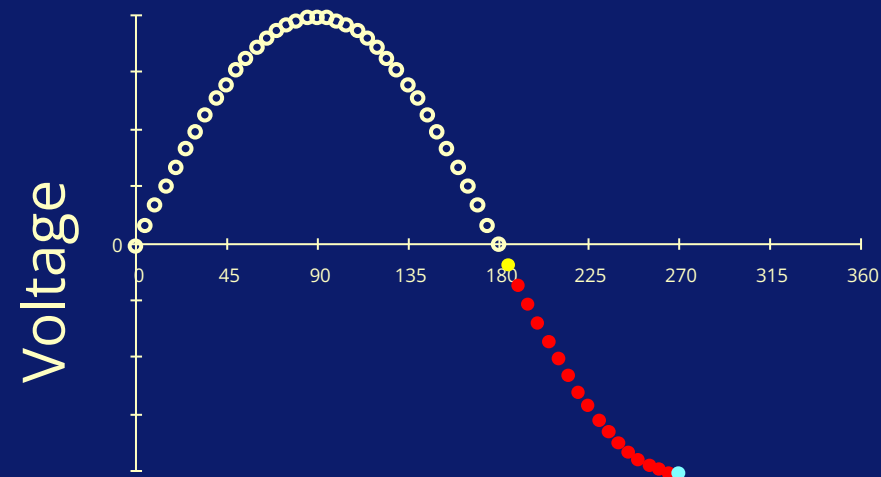
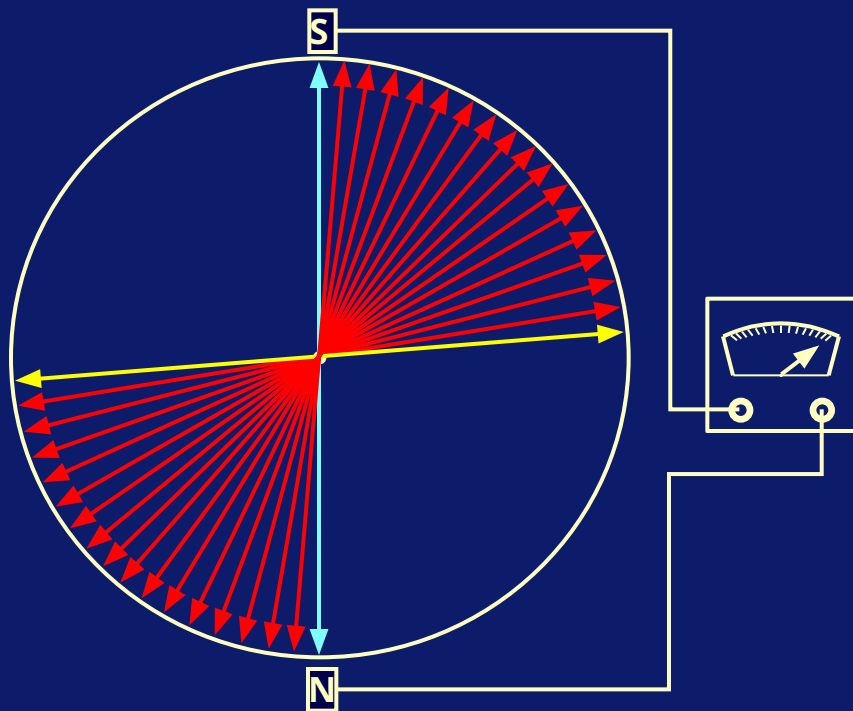
# Переменный ток

Дальнейшее движение ротора на самом деле вызывает снижение напряжения.



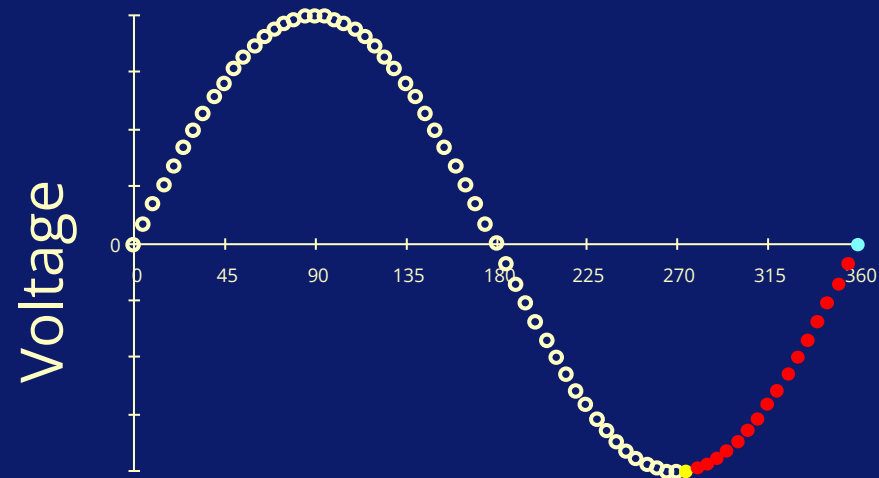
# Переменный ток

На самом деле, при повторном вращении на  $180^\circ$ , напряжение станет отрицательным.



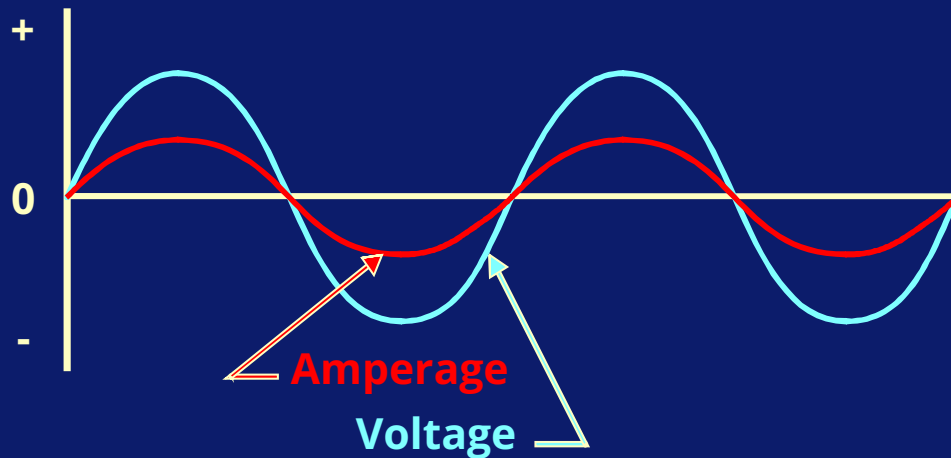
# Переменный ток

Пока оно в конечном счете снова не достигнет нуля при прекращении вращения генератора. Это один цикл, который соответствует одному обороту генератора.



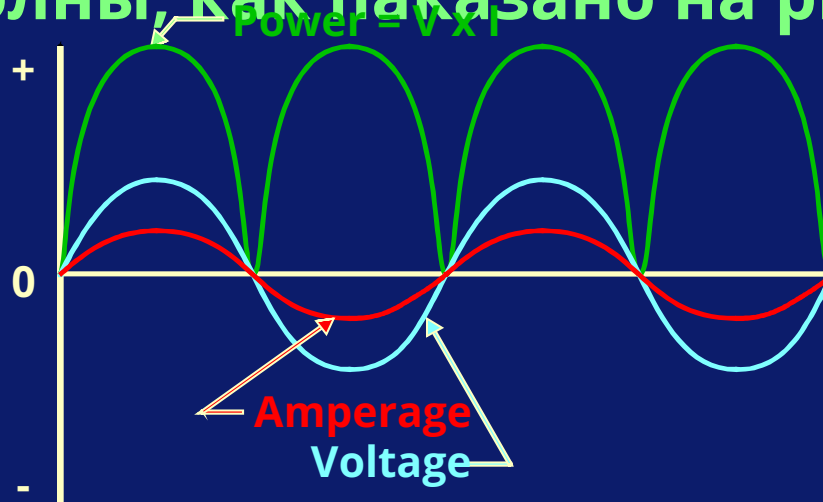
# Переменный ток

В цепи с активным сопротивлением, волна тока и волна напряжения находятся «в фазе» и сопротивление можно вычислить по закону Ома.



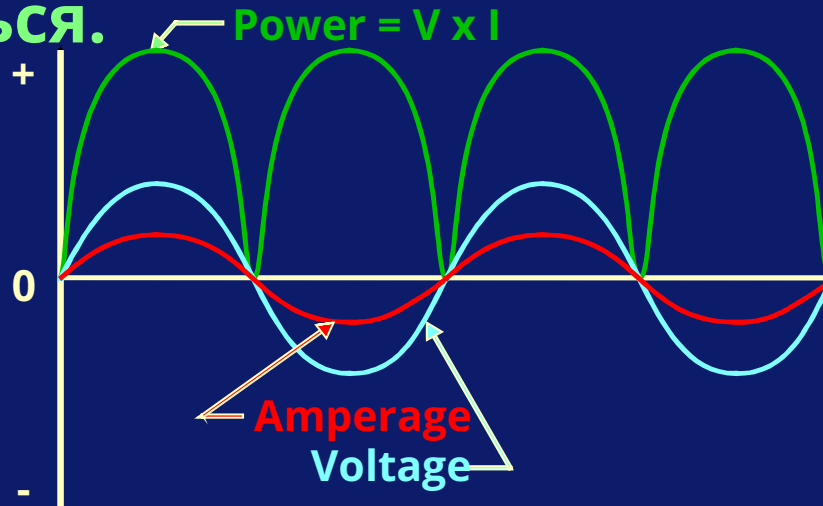
# Переменный ток

Мгновенная мощность (производная напряжения и силы тока), тоже будет иметь форму волны, как показано на рисунке



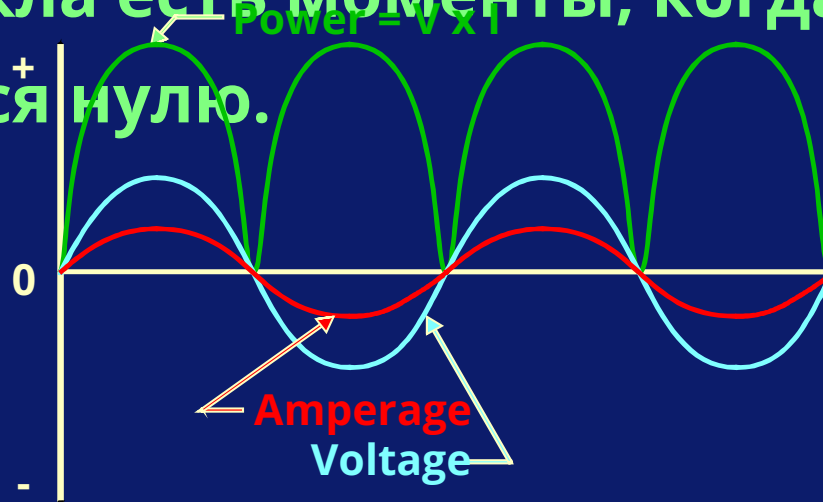
# Переменный ток

Энергия меняется постоянно по отношению ко времени. В цепи переменного тока максимальные КВА и фактические КВА будут отличаться.



# Переменный ток

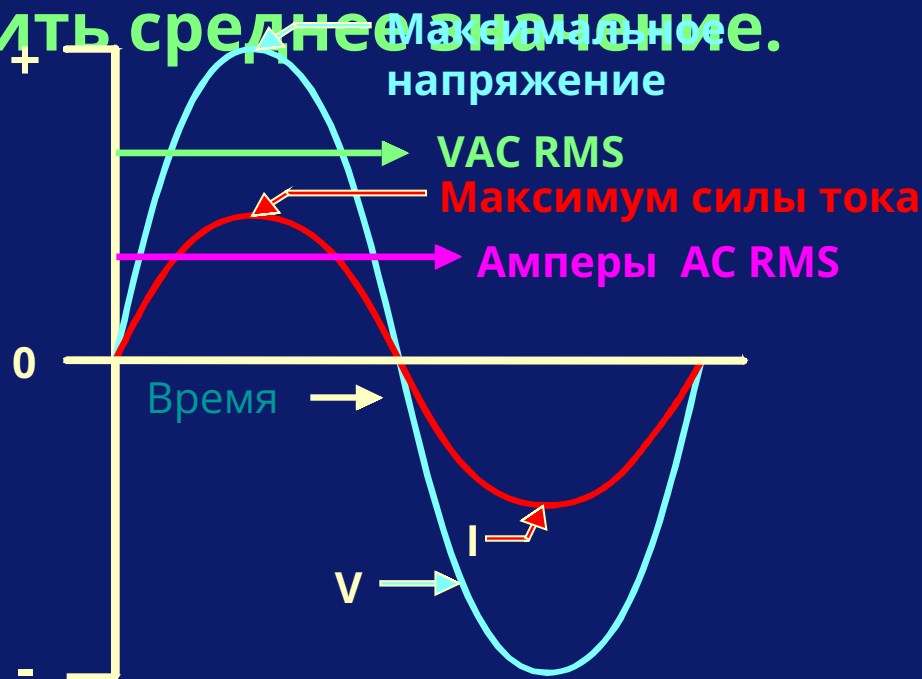
В каждом цикле КВА достигают своего максимума дважды, в то время как в большинстве случаев они меньше. В течение всего цикла есть моменты, когда КВА равняются нулю.





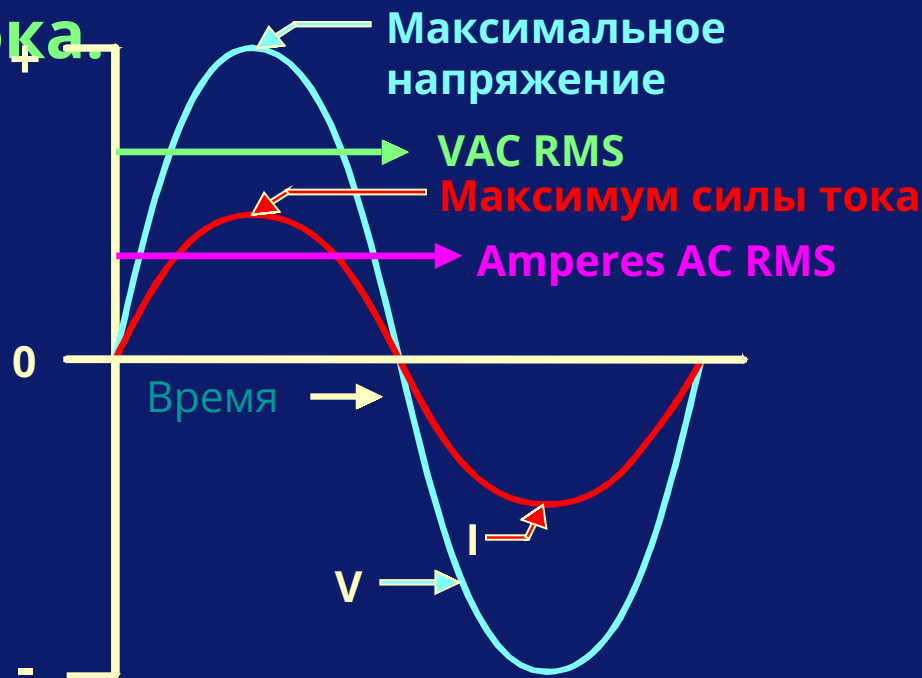
# Переменный ток

Принимая это во внимание, для вычисления эффективной мощности, необходимо вычислить среднее значение.



# Переменный ток

Эффективная мощность – это производная эффективного напряжения и эффективной силы тока.



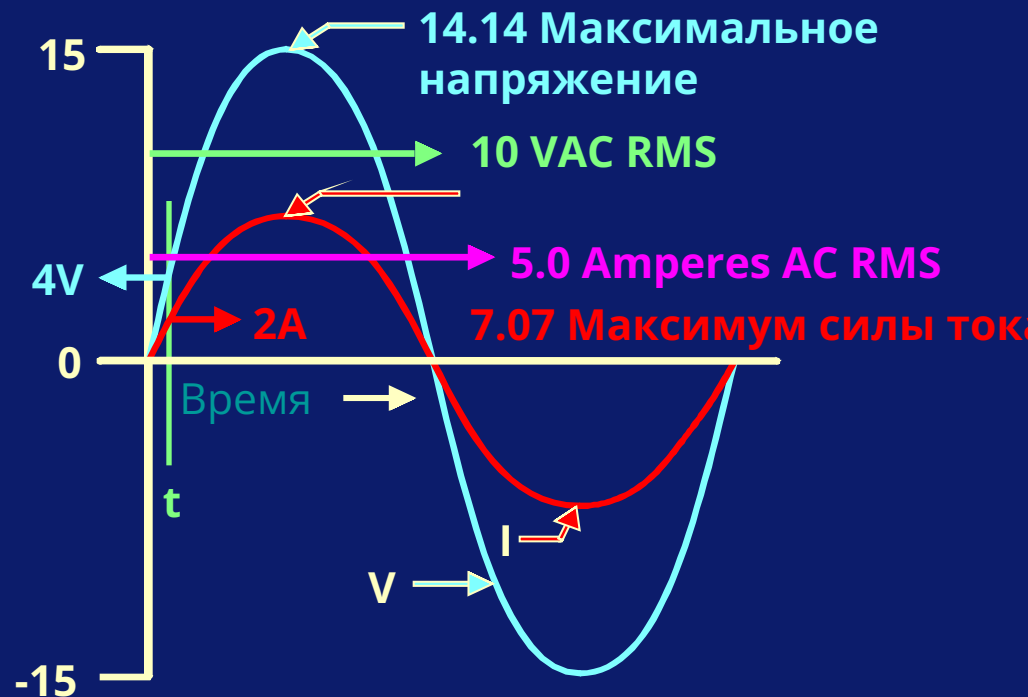
# Переменный ток

Для того, чтобы получить эффективную величину напряжения и силы тока, необходимо разделить их максимальное значение на квадратный корень двух. Так мы получим эффективные величины (RMS) каждого из них.



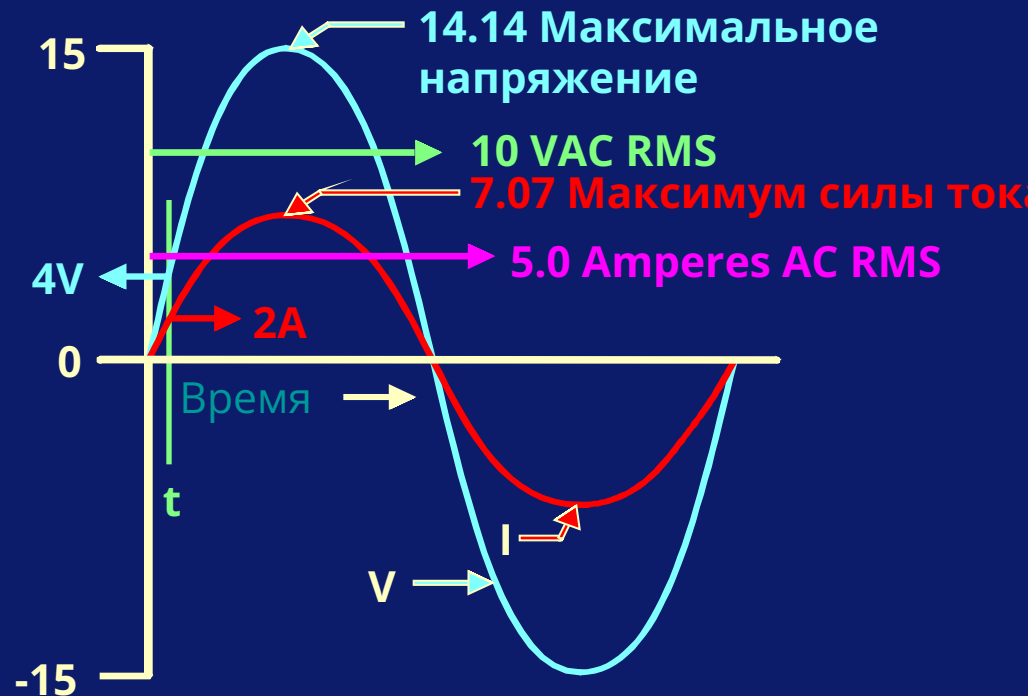
# Переменный ток

Для приведенной схемы напряжение = 10 VAC (RMS), хотя максимальное напряжение = 14.14 VAC.



# Переменный ток

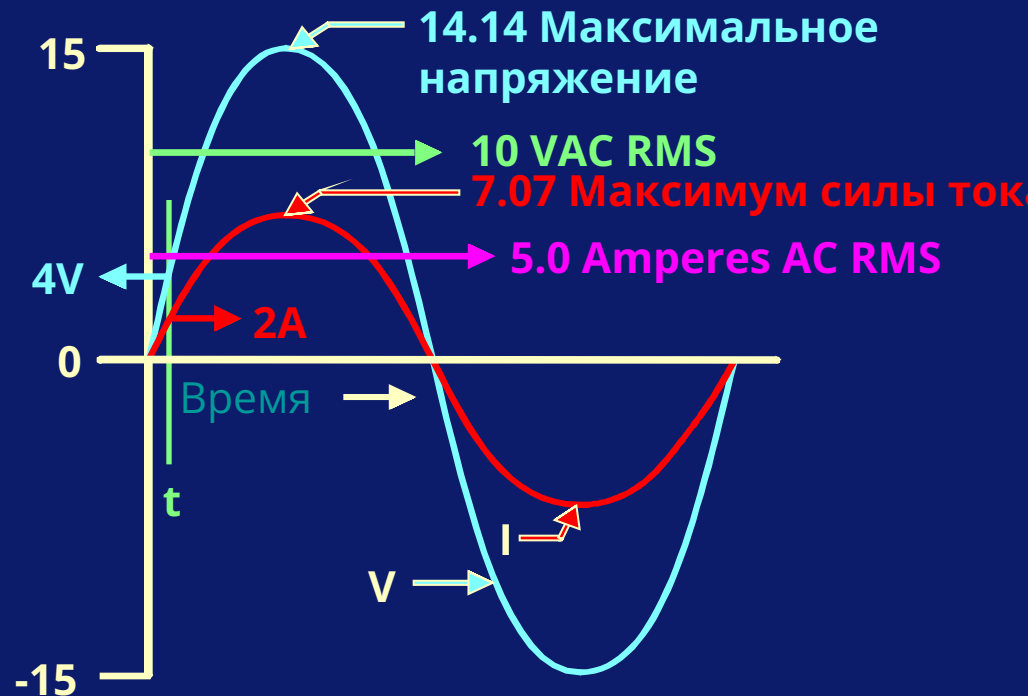
Эффективная сила тока = 5A (RMS), хотя  
максимальное значение = 7.07A.



# Переменный ток

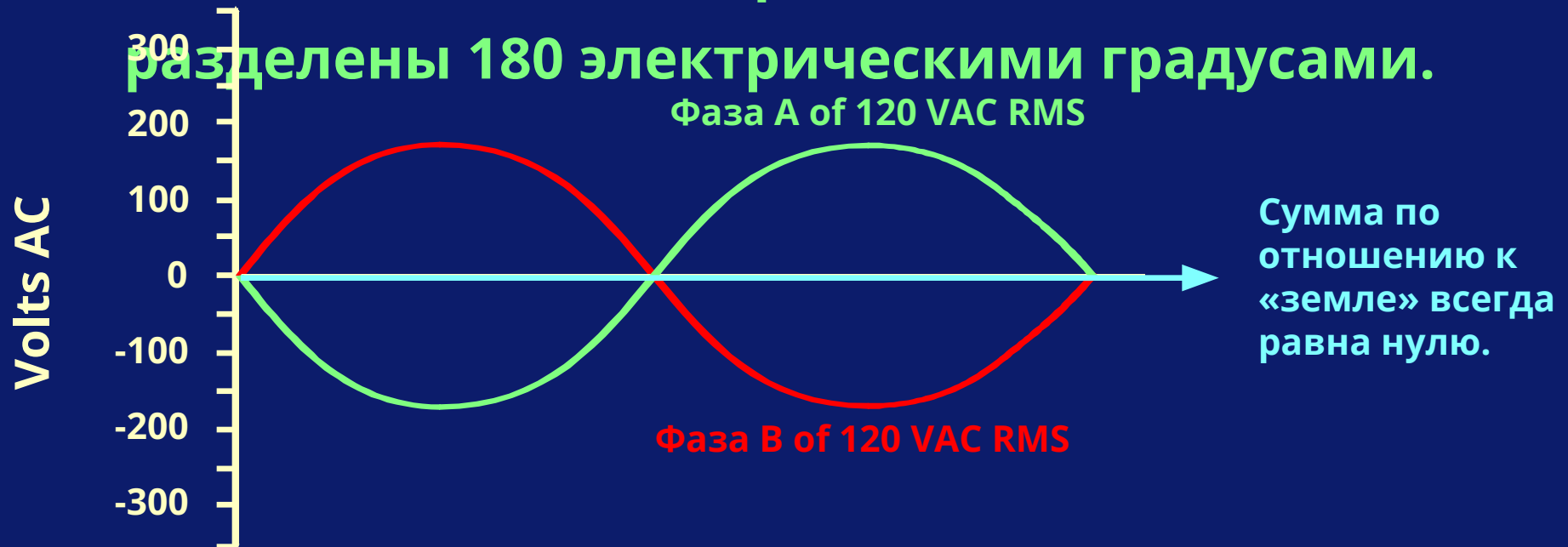
Эффективная мощность цепи, в данном случае, будет равняться 50 VA. Так как напряжение и ток в фазе, то потраченная энергия будет тоже

50 Вт.



# Переменный ток

В предыдущем примере ток был единственной фазой. Также существует двухфазовый ток. В США энергия в жилых домах имеет две волны тока, каждая из которых 120 VAC и они разделены 180 электрическими градусами.



# Переменный ток

Большинство домашних приборов используют одну фазу по отношению к заземлению, которая производит 120 VAC.

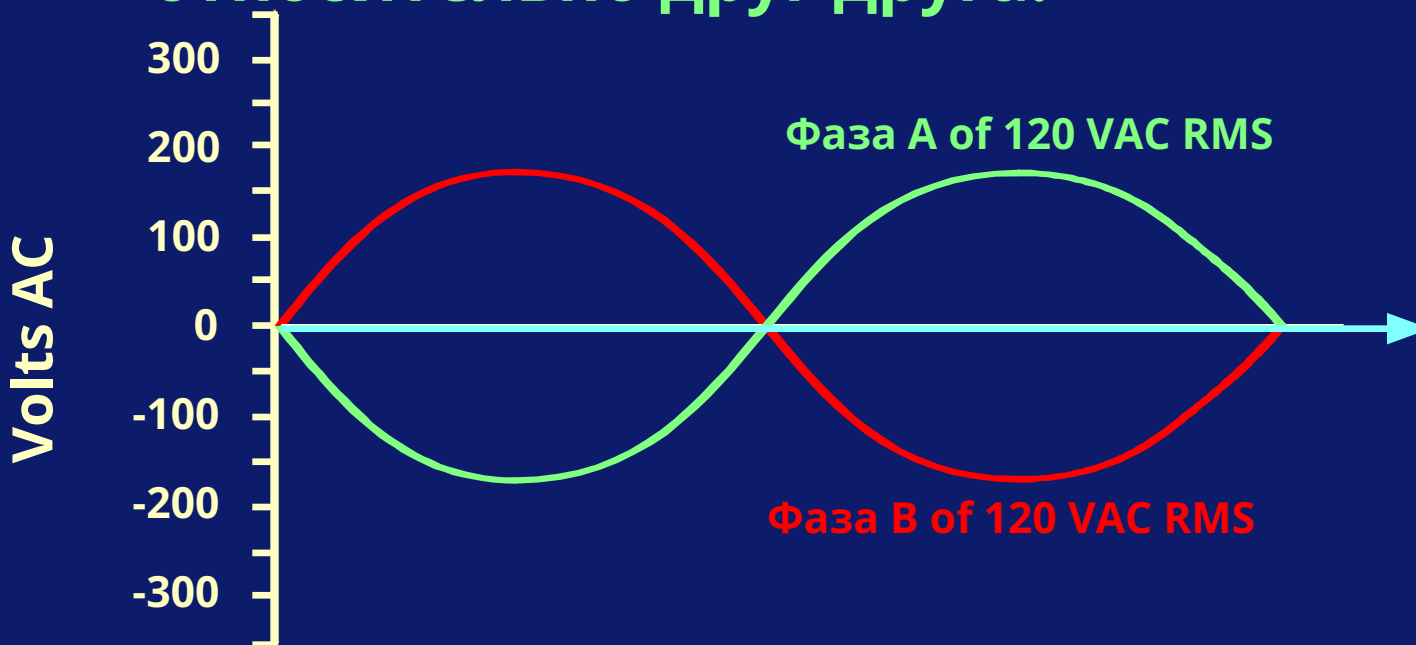


Сумма по отношению к «земле» всегда равна нулю.



# Переменный ток

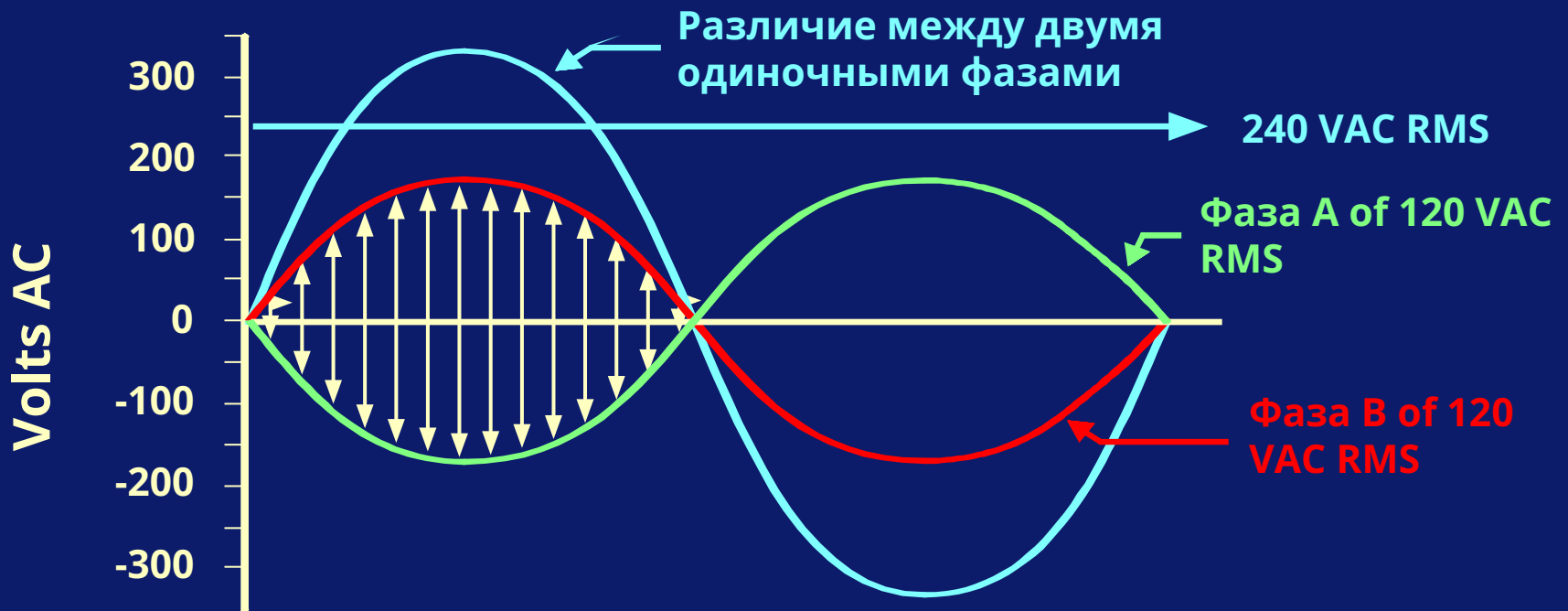
Некоторые механизмы требуют 240 VAC. Это возможно, если обе фазы используются относительно друг друга.



Сумма по отношению к «земле» всегда равна нулю.

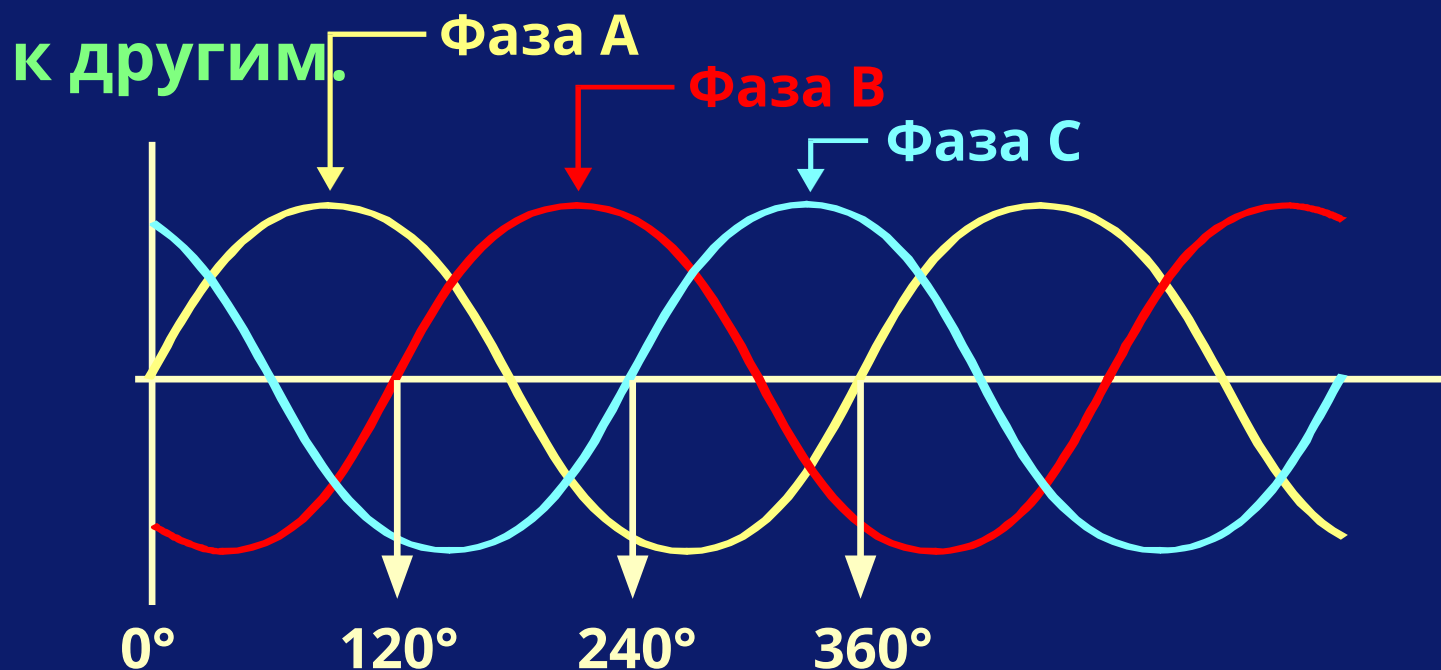
# Переменный ток

Различие между двумя фазами 120 VAC, которые не в фазе 180 градусов, будет 240 VAC.



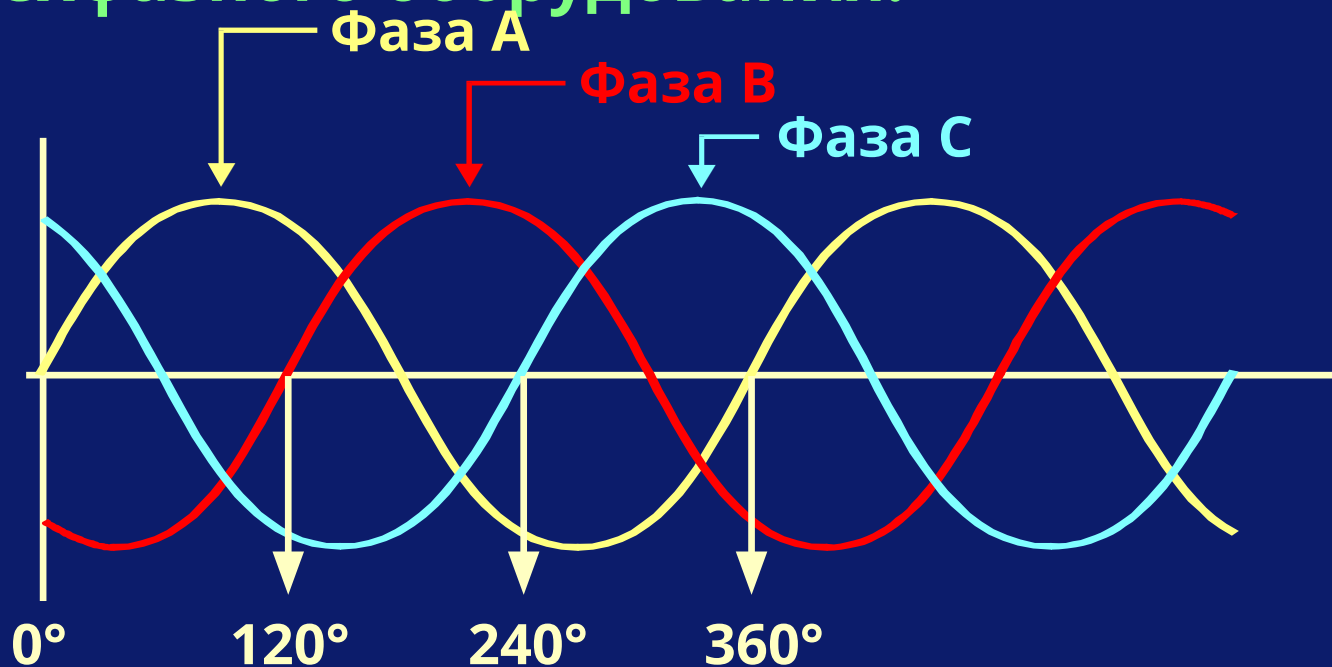
# Переменный ток

В промышленном оборудовании ток зачастую имеет три фазы. Каждая из них разделяется 120 электрическими градусами по отношению к другим.



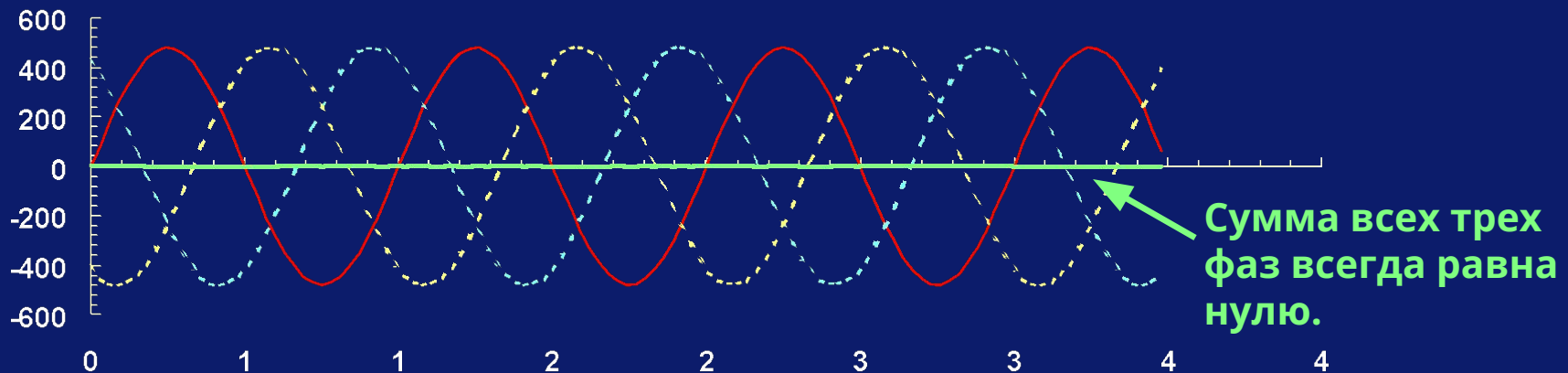
# Переменный ток

Каждую фазу можно использовать индивидуально или все три вместе для трехфазного оборудования.



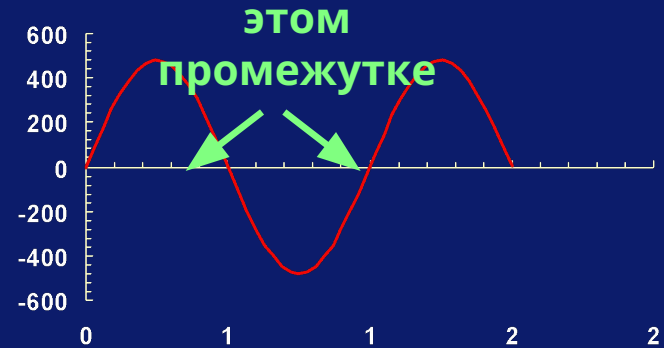
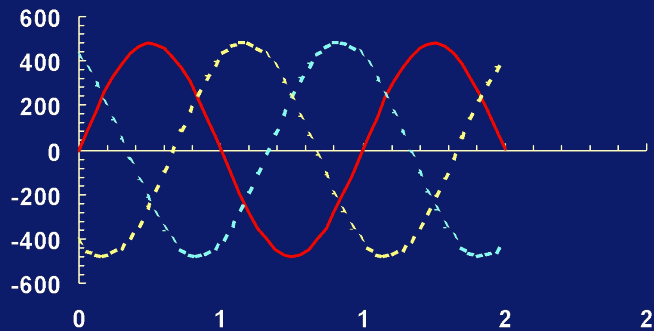
# Переменный ток

Трехфазные механизмы работают намного более гладко, так как энергия постоянно поступает к двигателю.



# Переменный ток

Так как такой двигатель постоянно снабжается энергией, то он дает больше выработки, чем двигатель того же размера, работающий на одной или двух фазах.



# Коэффициент мощности

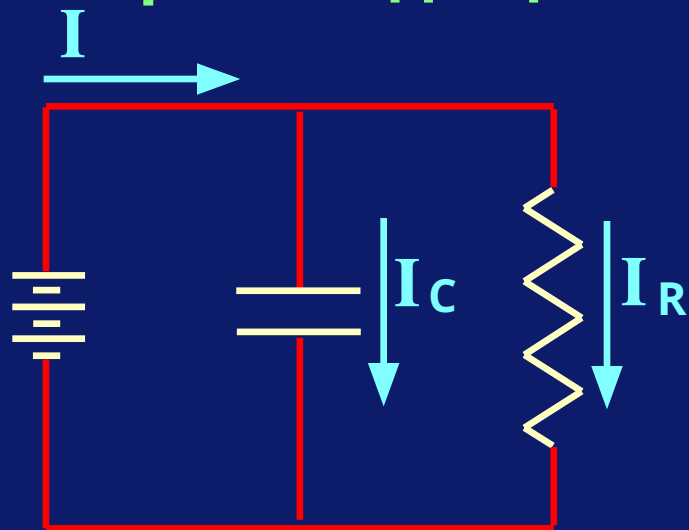
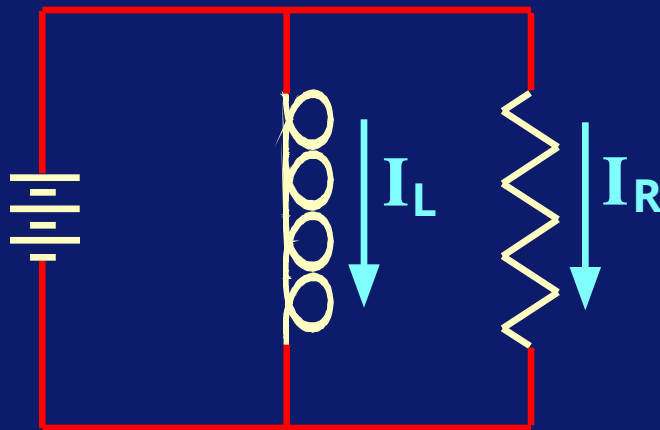
Множество цепей переменного тока не являются чисто активной нагрузкой. В этом случае кажущаяся мощность и реальная мощность не будут одинаковы. Соотношение их двоих является коэффициентом мощности (PF).

$$\text{P.F.} = \frac{\text{кВт}}{\text{КВА}}$$

# Коэффициент мощности

Множество цепей переменного тока содержат накопитель энергии, которые притягивают ток  $90^\circ$  из фазы с работопроизводящим

$I$   
током.



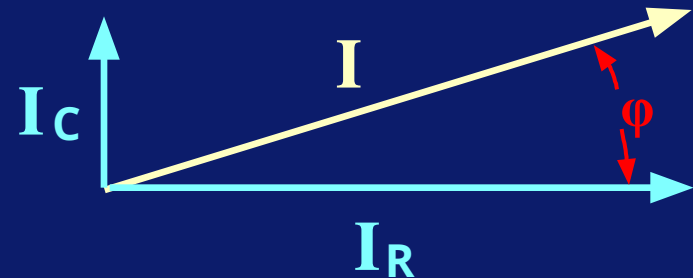


# Коэффициент мощности

$I_L$  задерживает работопроизводящий ток и  $I_C$  направляет его. Это можно представить векторами как:



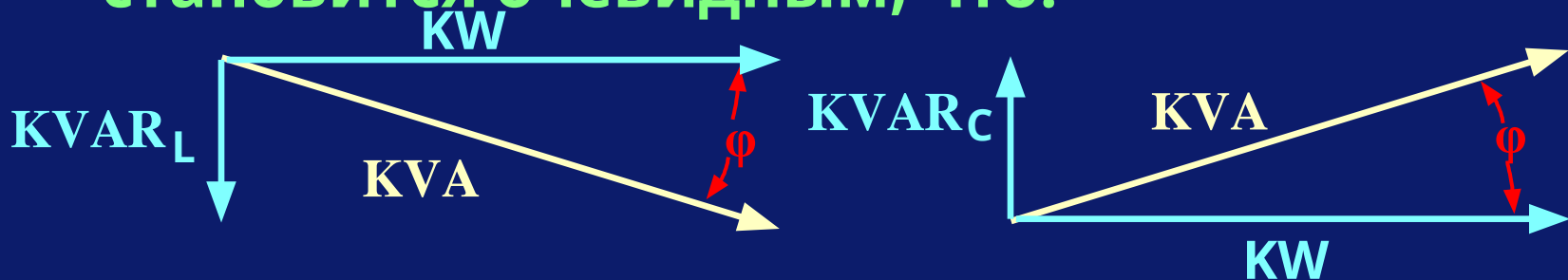
$$PF = \frac{I_R}{I} = \cos \phi ( )$$



$$PF = \frac{I_R}{I} = \cos \phi ( )$$

# Коэффициент мощности

Так как КВт, КВА и КВАР просто производные Вольт и Ампер, деленных на 1000, то становится очевидным, что:

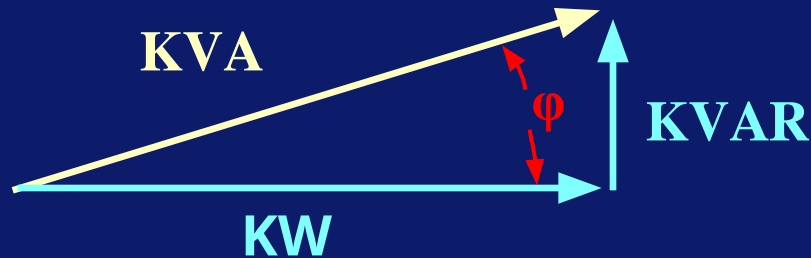


$$PF = \frac{KW}{KVA} = \cos(\phi)$$

$$PF = \frac{KW}{KVA} = \cos(\phi)$$

# Коэффициент мощности

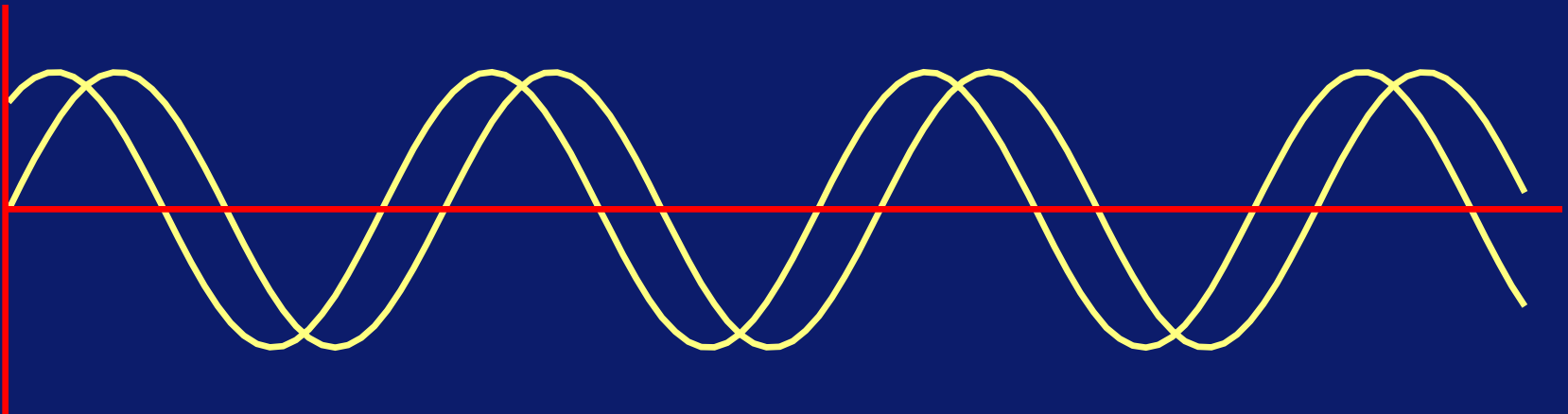
КВАР можно рассчитать как используя теорему Пифагора, так и используя тригонометрические соотношения:



$$KVAR = \sqrt{KVA^2 - KW^2} \quad \text{or} \quad KVAR = KVA * \sin \phi )$$

# Коэффициент мощности

Коэффициент мощности, отличный от 1.00, является результатом того, что волны напряжения и тока находятся вне фазы.



# Коэффициент мощности

И что же все-таки это такое – коэффициент мощности?

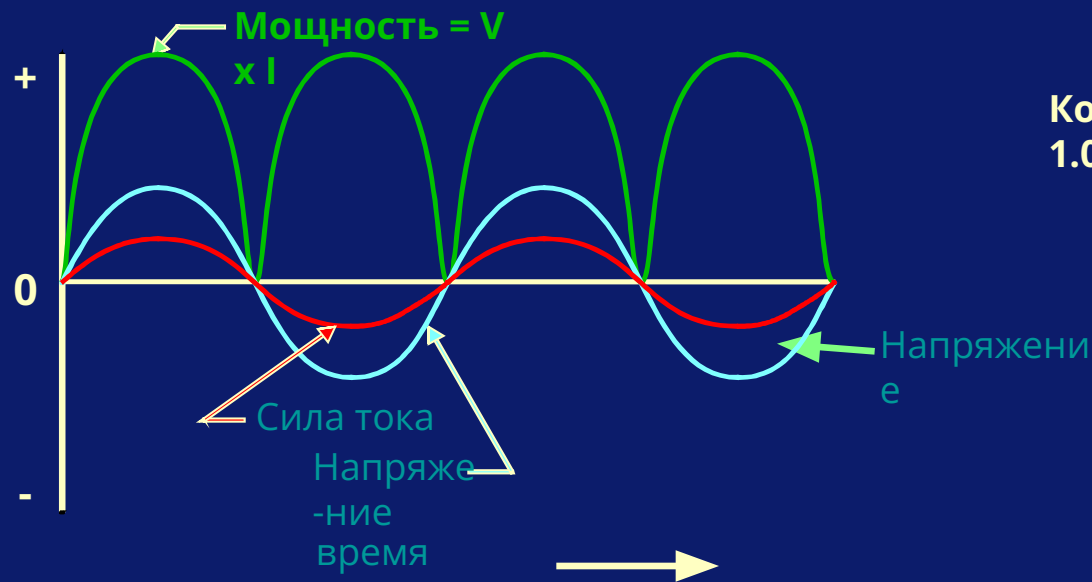
# Коэффициент мощности

В электрической цепи есть два типа нагрузки.

Одна из них использует электрическую энергию и превращает ее во что-нибудь другое, другая же сохраняет энергию, ни во что ее не превращая.

# Коэффициент мощности

Резистор – простое устройство, которое превращает электрическую энергию в тепло и имеет коэффициент мощности 1.00.



Коэффициент мощности = 1.00

# Коэффициент мощности

Есть два типа приспособлений для накопления энергии: индукторы и конденсаторы.

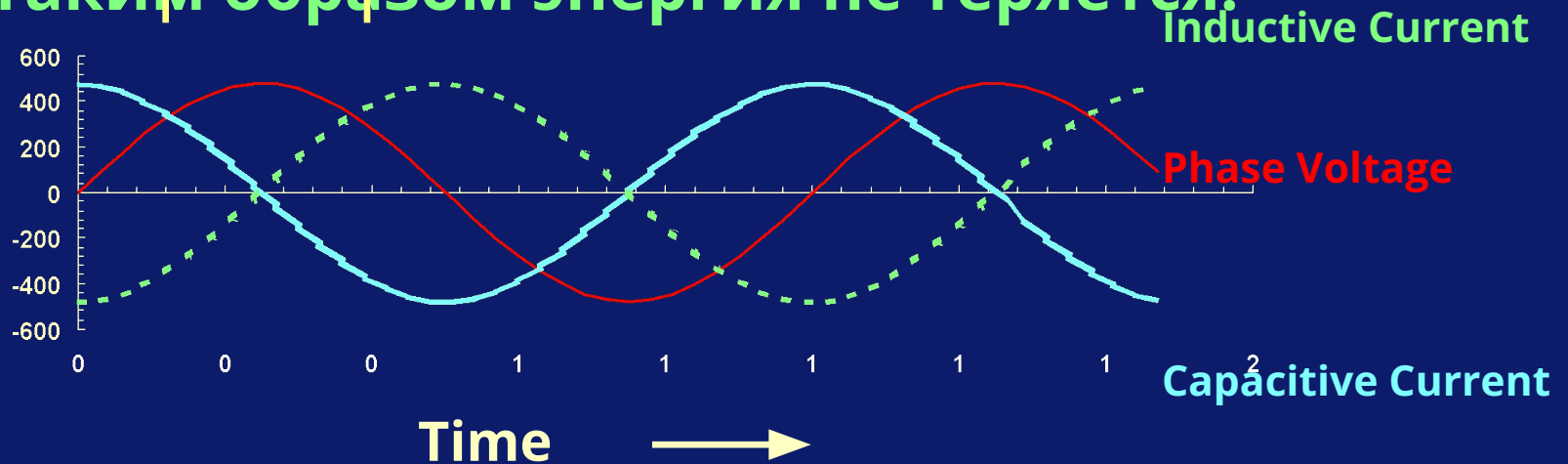


# Коэффициент мощности

В течение половины цикла переменного тока, такой прибор для энергии принимает и накапливает энергию и, в течение второй половины, он отдает ее назад в систему.

Leads 90° Lags 90°

Таким образом энергия не теряется.



# Коэффициент мощности

Индуктор сохраняет энергию в магнитном поле.

Конденсатор сохраняет энергию в

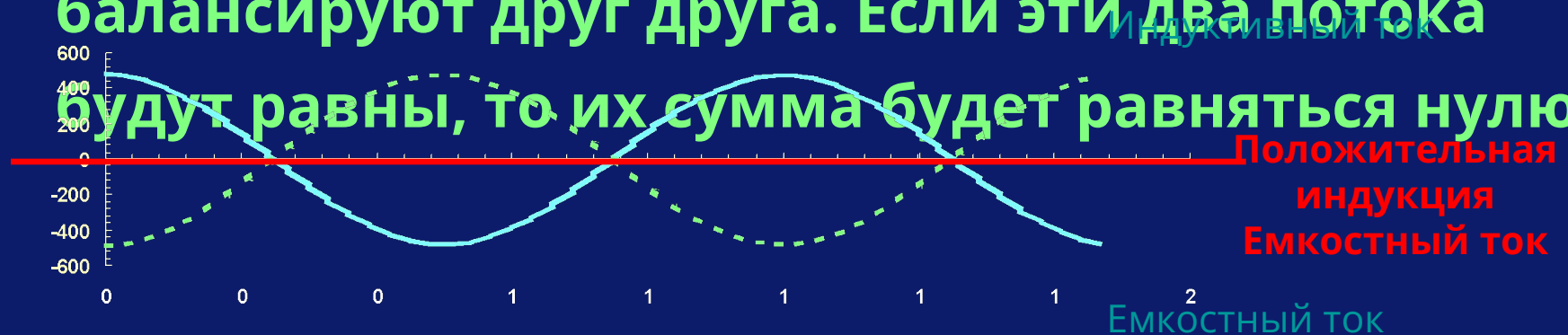
электрическом поле. Одно большое отличие

между ними в том, что в то время как один из

них сохраняет энергию, другой ее отдает и они

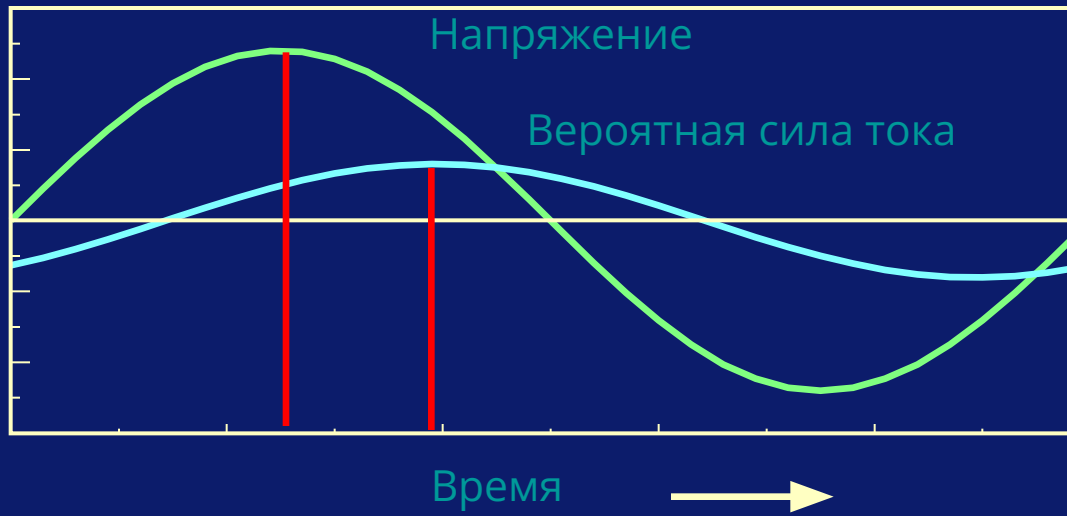
балансируют друг друга. Если эти два потока

будут равны, то их сумма будет равняться нулю.



# Коэффициент мощности

Если индуктор и резистор в одной и той же цепи, то результатом будет объединенная волна тока, которая сдвигается с течением времени по отношению к волне напряжения.



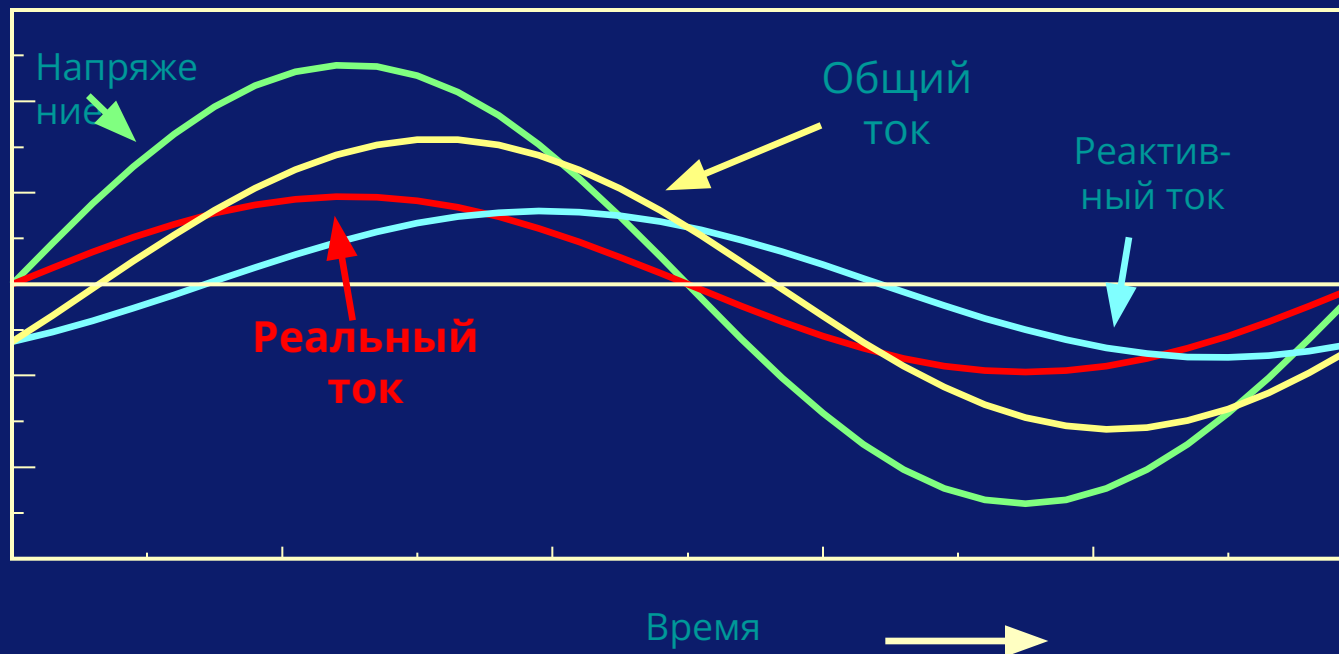
# Коэффициент мощности

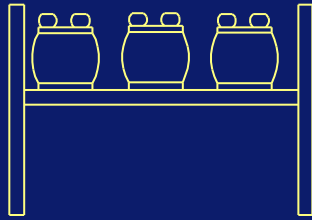
В индукционном двигателе мы используем электрическую энергию для стимулирования магнитного поля в статоре. Не вся эта энергия используется для передачи мощности двигателю.

Энергия, не превращенная во вращение (или тепло), возвращается назад в поверхностную энергосистему.

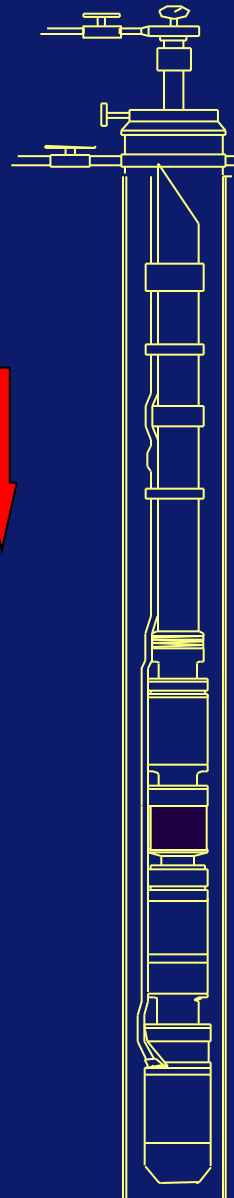
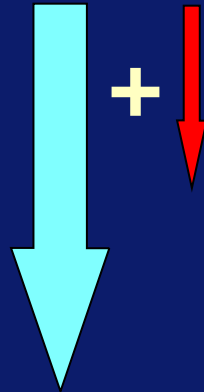
# Коэффициент мощности

В сущности, мы только заимствуем порцию энергии на некоторое время.





**Электричество,  
о,  
направленное  
в скважину:**



**Возвращенное  
электричество**



**Электричество,  
представленное голубой  
стрелкой, расходуется. А то, что  
представлено красной  
стрелкой, просто сохраняется и  
возвращается позже.**

# Коэффициент мощности

Умножение напряжения на синфазный ток дает реальное потребление кВт, тогда как умножение на общий ток дает требуемые КВА.



# Выводы

- Коэффициент мощности означает реальную потребленную мощность в отличии от теоретической
- Общая требуемая мощность (кВА) определяестя умножением напряжения на общий ток
- Фактическая потребленная мощность (кВт) вычисляется умножением напряжения на синфазный ток.
- Это может оказать существенное влияние на скважинные двигатели.



# Цели

Нашими целями были:-

Объяснить, что такое напряжение и ток.

Понять важность  $K_{пр}$  для требований двигателя.

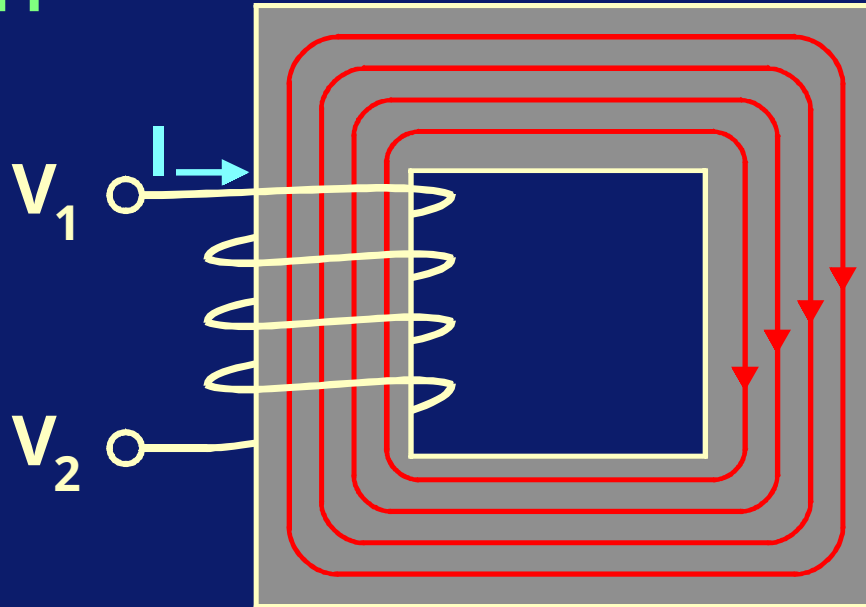
Знать разницу между третичной и первичной фазами.

Использовать законы Ома и Кирхгофа.

Оценивать сходства между магнетизмом и

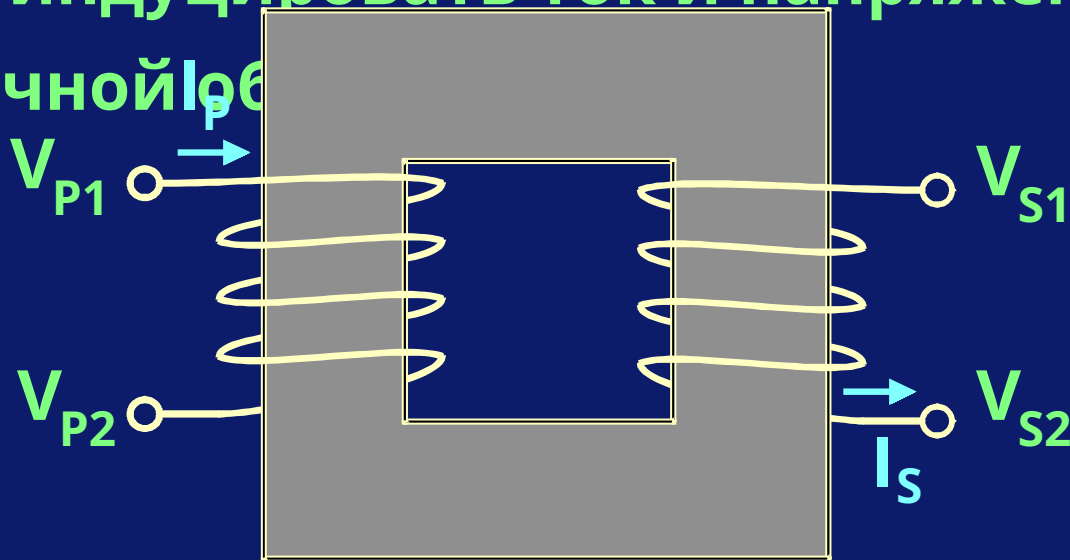
# Трансформаторы

Если кабель намотан на стальной сердечник и ток проходит по этому кабелю, то в сердечнике возникает магнитное поле. Сила магнитного поля будет зависеть от КВА в обмотке.



# Трансформаторы

Если еще один кабель намотать на тот же сердечник, то магнитное поле в сердечнике будет индуцировать ток и напряжение во вторичной обмотке

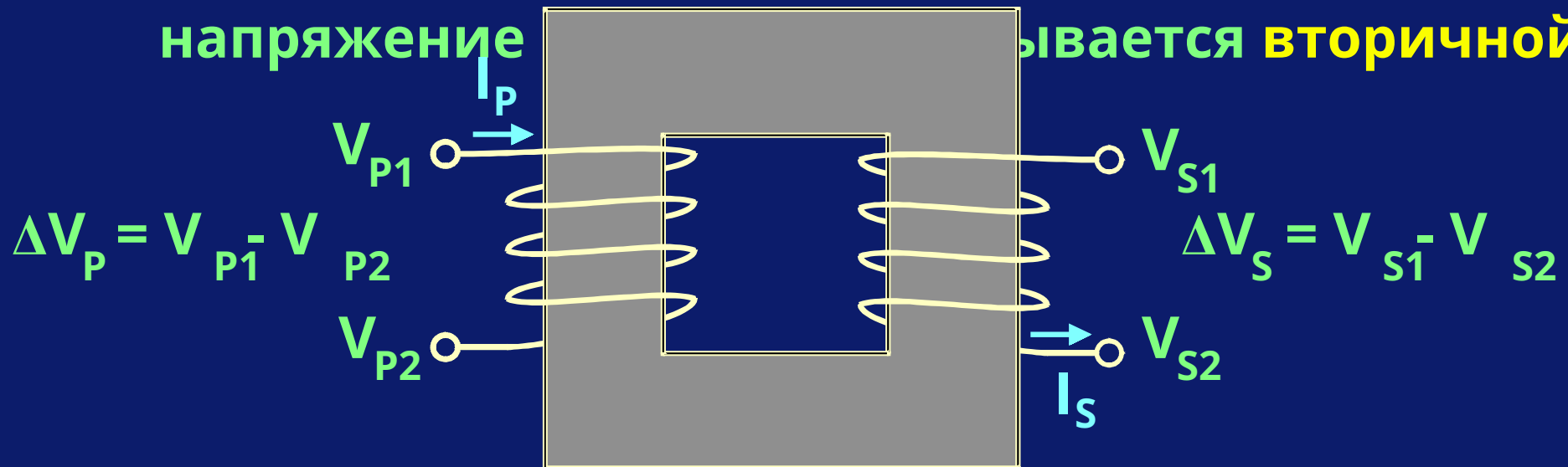


$$\Delta V_P = V_{P1} - V_{P2}$$

$$\Delta V_S = V_{S1} - V_{S2}$$

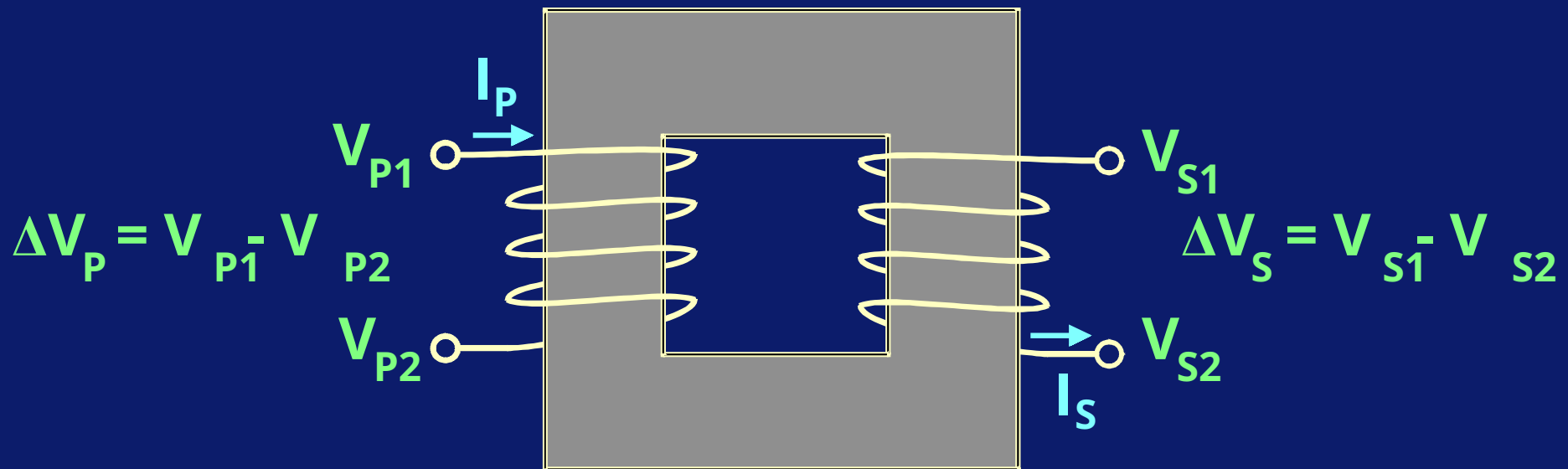
# Трансформаторы

Обмотка, подсоединенная к источнику напряжения и при этом индуцирующая магнитное поле, называется **первичной**, в то время как обмотка, которая получает свое напряжение называется **вторичной**.



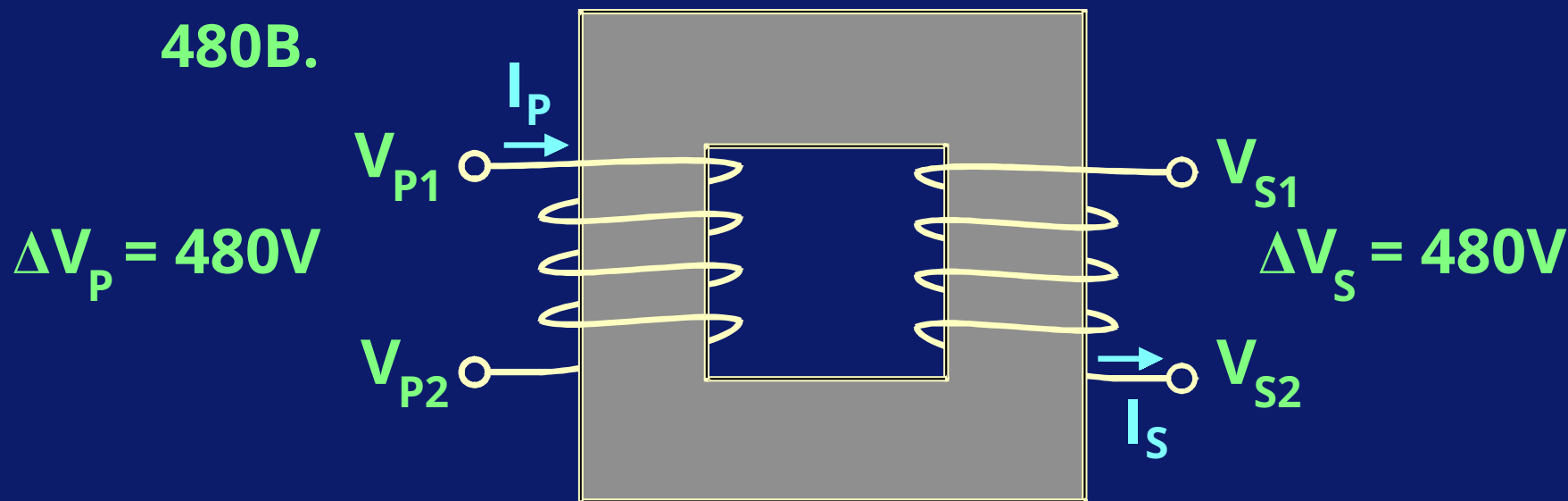
# Трансформаторы

Возможно предсказать напряжение (и ток), индуцированные во вторичной обмотке, если мы знаем отношение «витков» в каждой обмотке.



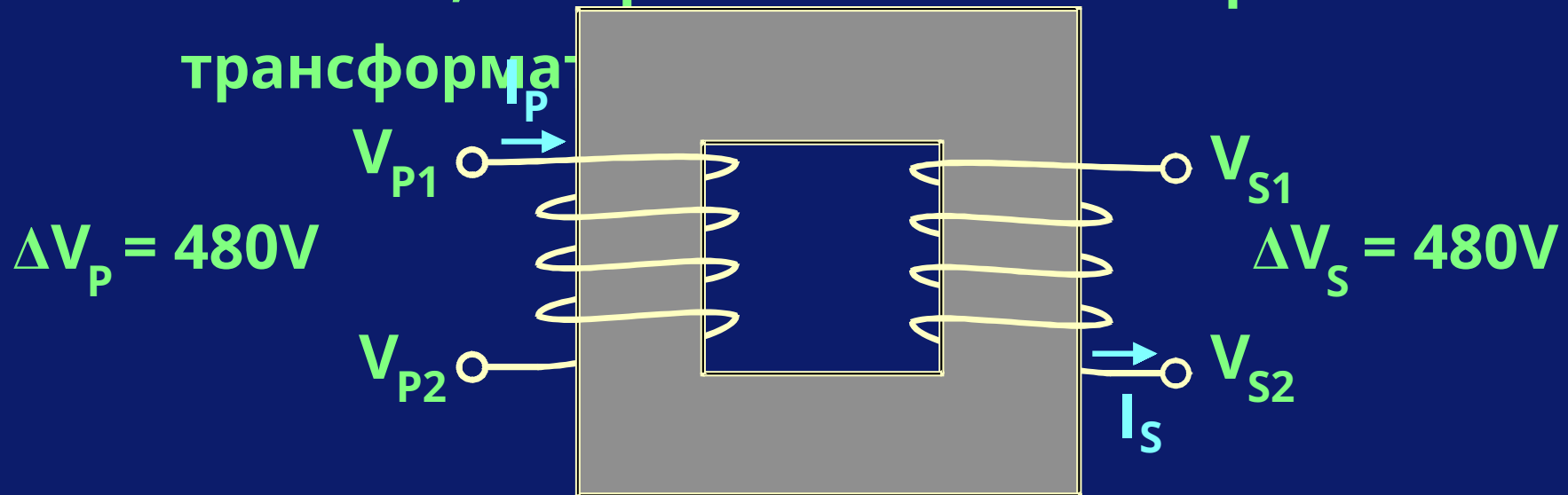
# Трансформаторы

В приведенной иллюстрации количество витков одинаково на каждой стороне, поэтому соотношение витков будет 1:1. В этом случае, если первичное напряжение = 480В, то вторичное напряжение тоже будет 480В.



# Трансформаторы

Так как энергию нельзя ни создать, ни уничтожить, то объемы тока на обеих сторонах тоже будут равны. Другими словами, КВА равны на обеих сторонах трансформатора.

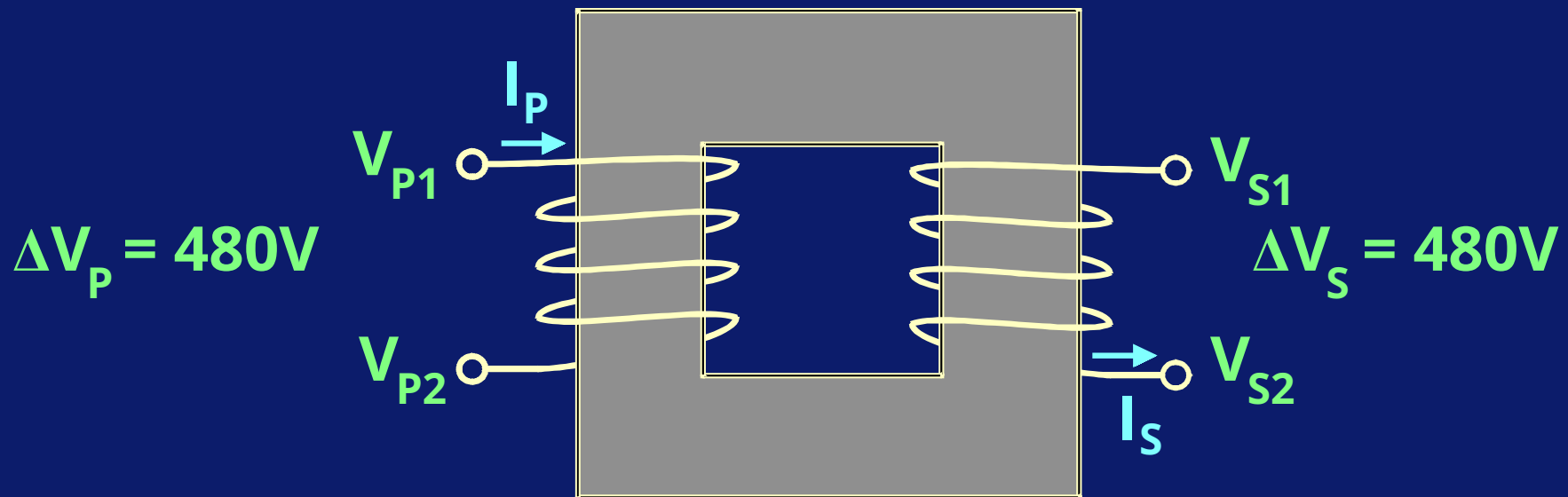


# Трансформаторы

$$KVA_p = \Delta V_p \times I_p$$

$$KVA_s = \Delta V_s \times I_s$$

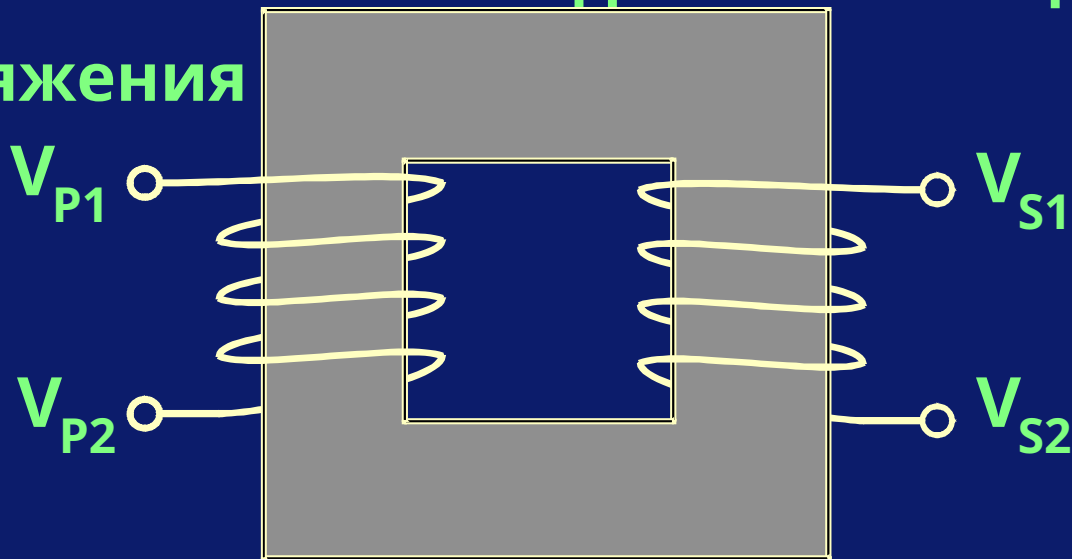
$$KVA_p = KVA_s$$





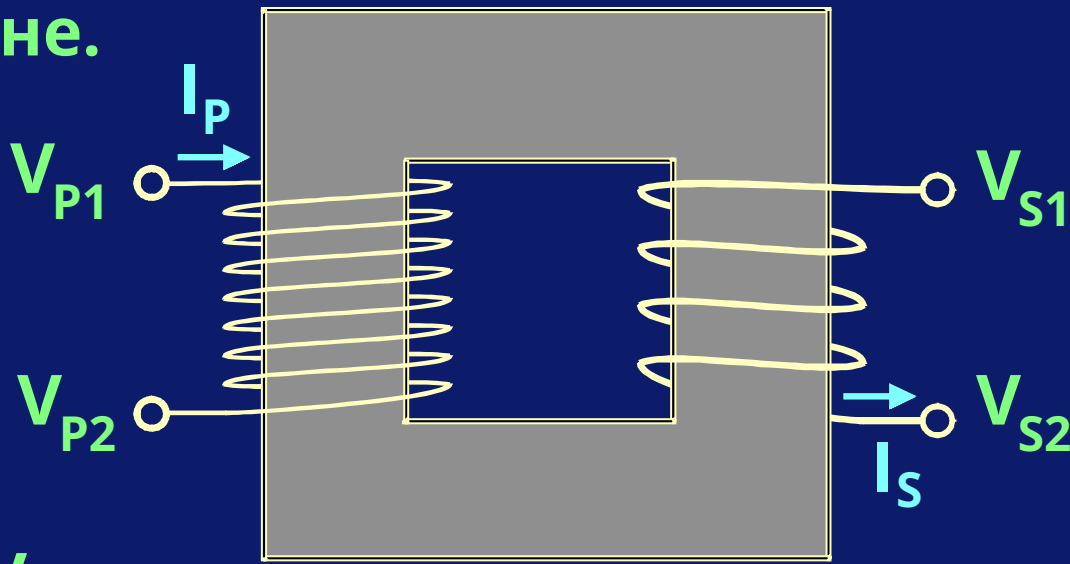
# Трансформаторы

Этот тип трансформатора называется трансформатором напряжения, так как его можно использовать для замены одного напряжения



# Трансформаторы

Если количество витков обмоток не одинаково, напряжение на вторичной стороне будет отличаться от напряжения на первичной стороне.



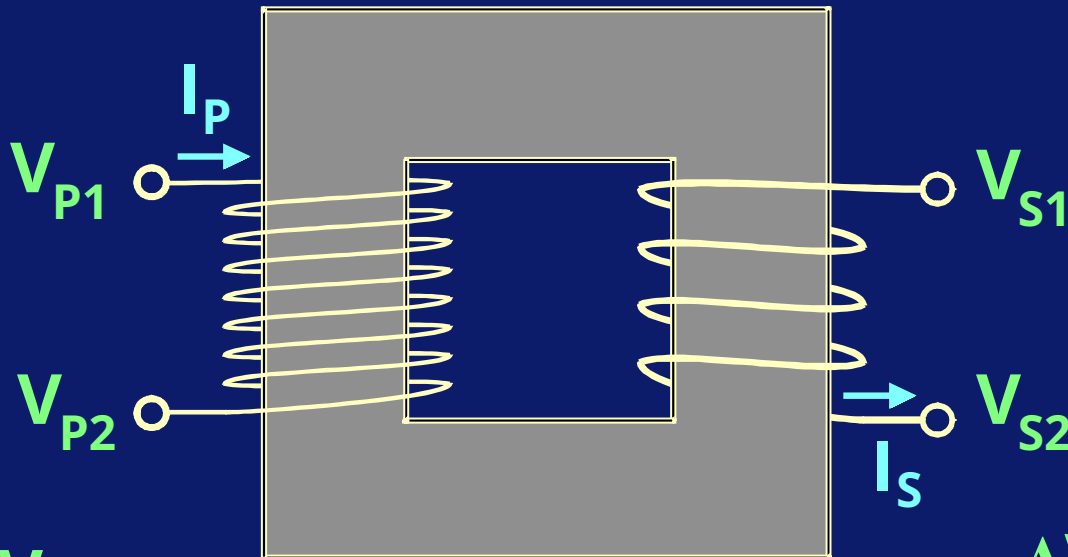
$$\Delta V_P = V_{P1} - V_{P2}$$

$$\Delta V_S = V_{S1} - V_{S2}$$

# Трансформаторы

Приведенный ниже трансформатор имеет больше витков на первичной стороне. А именно, у него 8 первичных витков и 4 вторичных.

2:1



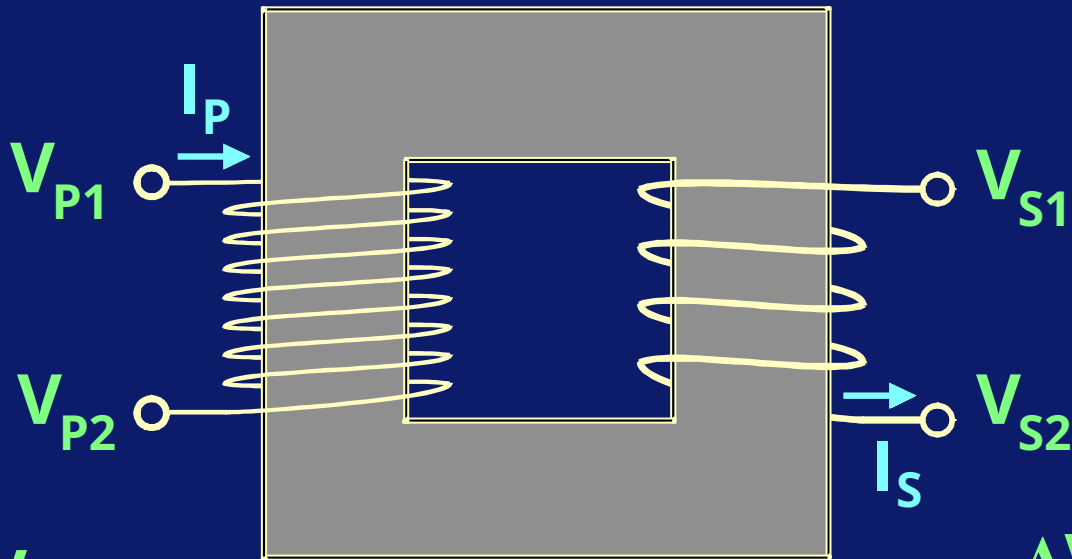
$$\Delta V_P = V_{P1} - V_{P2}$$

$$\Delta V_S = V_{S1} - V_{S2}$$

# Трансформаторы

Соотношение витков этого трансформатора (TR) будет 8 к 4 (8:4) или, если упростить, (2:1).

TR= 2:1



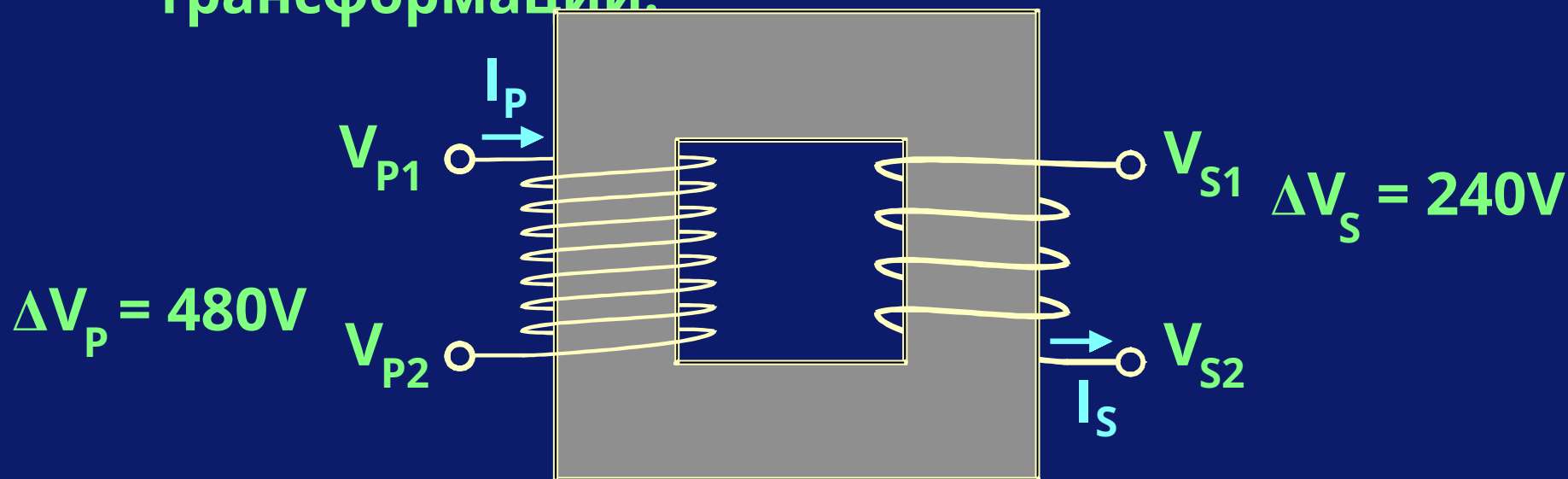
$$\Delta V_P = V_{P1} - V_{P2}$$

$$\Delta V_S = V_{S1} - V_{S2}$$

# Трансформаторы

Если первичное напряжение 480В, вторичное напряжение будет 240В. Вторичное напряжение можно вычислить делением первичного напряжения на коэффициент трансформации.

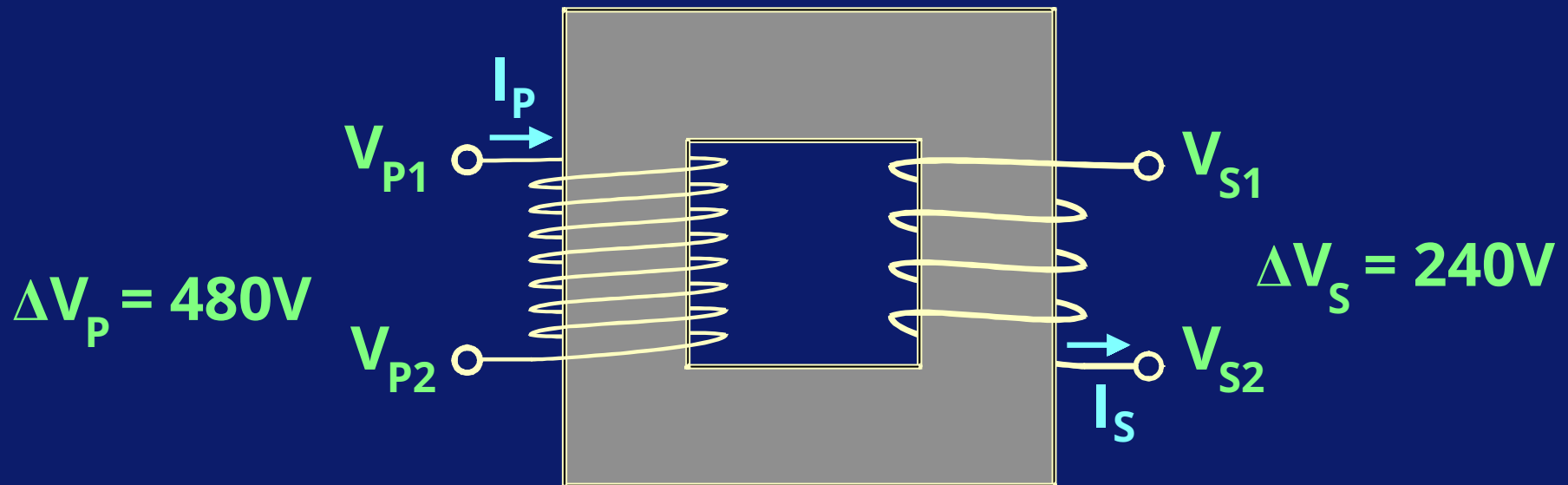
2:1



# Трансформаторы

$$V_s = \frac{480V}{2} = 240V$$

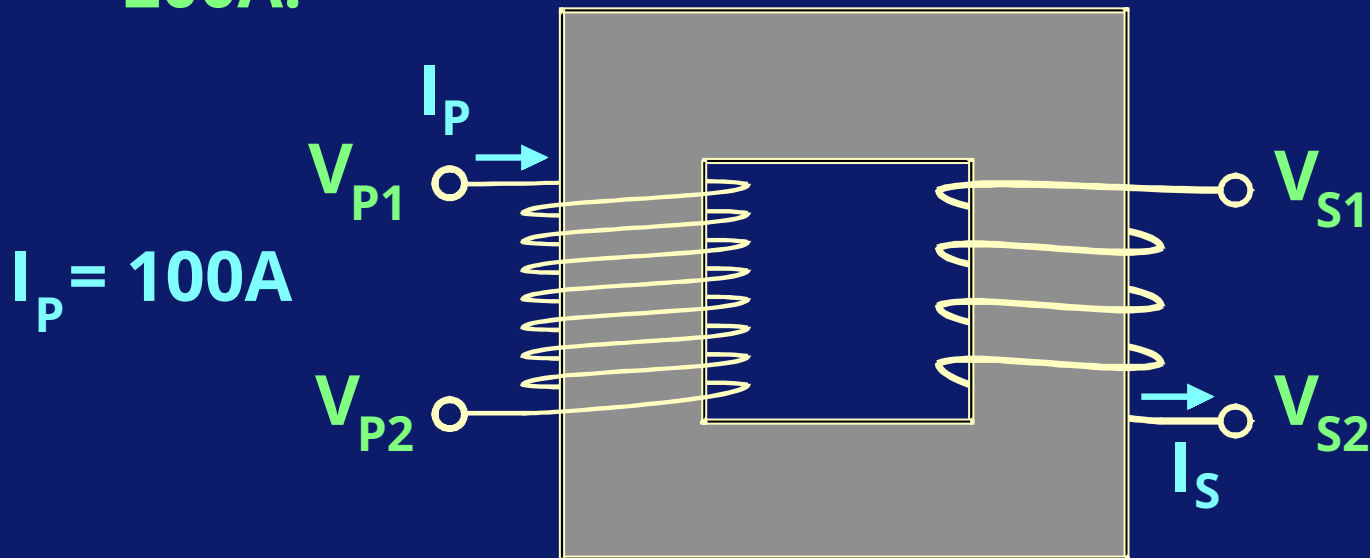
2:1



# Трансформаторы

С другой стороны, вторичный ток будет производной первичного тока, умноженного на коэффициент трансформации. Если первичный ток = 100А, то вторичный ток = 200А.

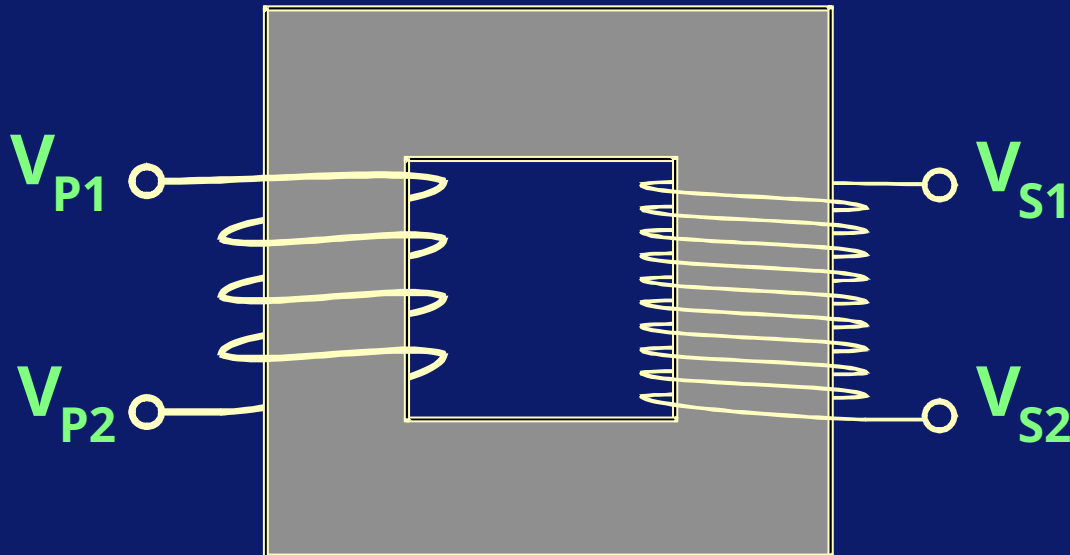
$$I_s = 100A \times 2 = 200A$$



# Трансформаторы

Трансформатор напряжения, который меняет напряжение на более высокое, называется **«повышающим»** трансформатором.

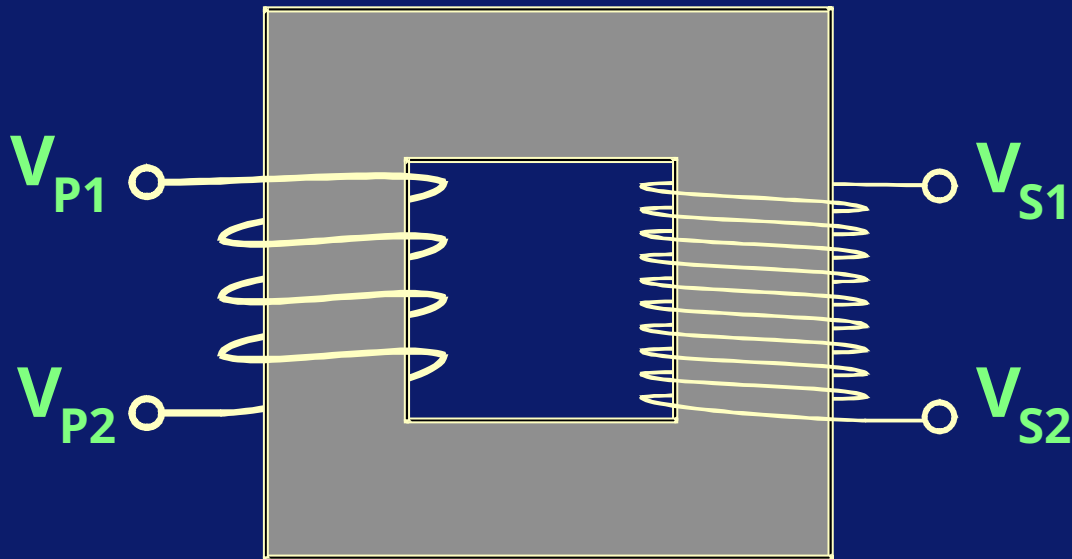
$$V_P < V_S$$





# Трансформаторы

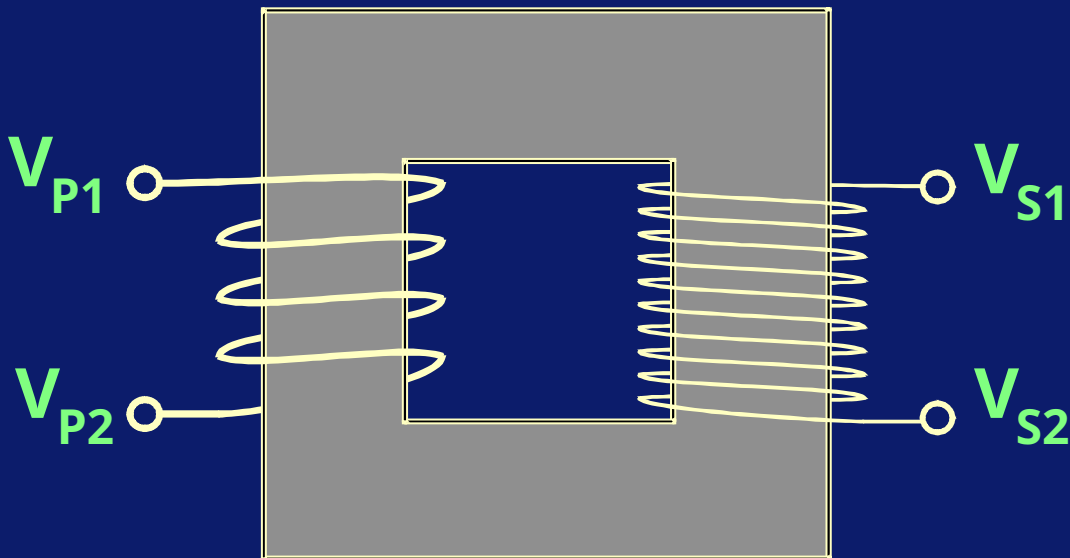
У показанного трансформатора 4 витка на первичной стороне и 10 витков на вторичной. Коэффициент трансформации будет 4:10 или 0.4:1.



# Трансформаторы

Вторичное напряжение и силу тока можно вычислить так же, как мы это делали раньше. Предположим, что первичное напряжение = 480V и первичная сила тока = 100A.

0.4:1



# Трансформаторы

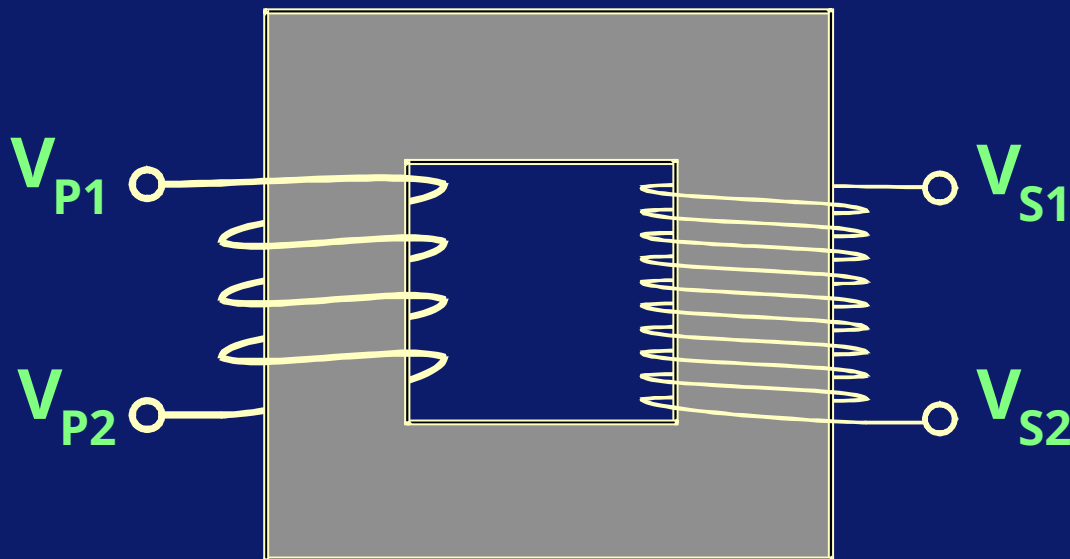
$$V_s = \frac{480V}{0.4} = 1200V$$

$$I_s = 100A \times 0.4 = 40A$$

0.4:1

$$I_p = 100A$$

$$\Delta V_p = 480V$$



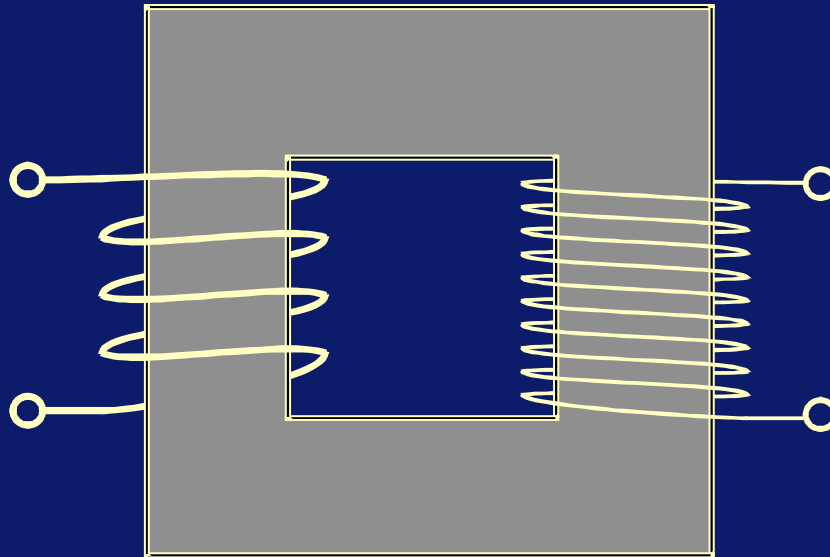
$$KVA_p = V_p \times I_p = \frac{480 \times 100}{1000} = 48 \text{ KVA}$$

$$KVA_s = V_s \times I_s = \frac{1200 \times 40}{1000} = 48 \text{ KVA}$$

$$KVA_p = KVA_s$$

$$I_p = 100A$$

$$\Delta V_p = 480V$$

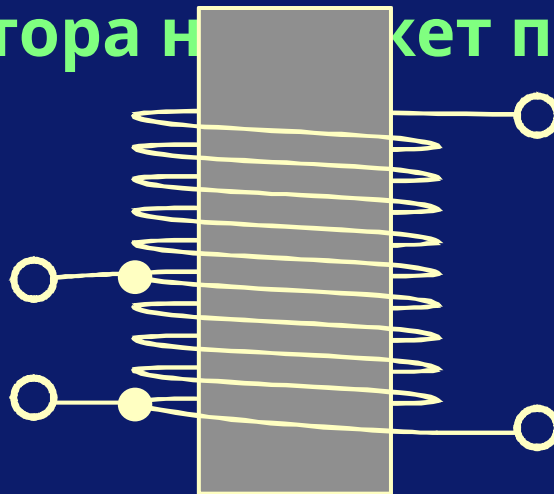


$$I_s = 40A$$

$$\Delta V_s = 1200V$$

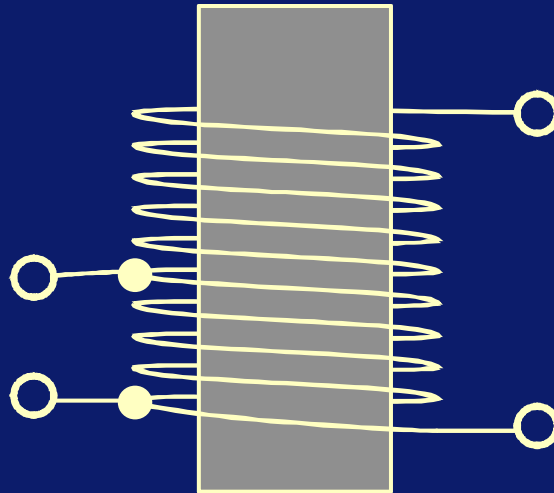
# Трансформаторы

Когда коэффициент трансформации не очень высок, то возможно использовать одну обмотку для первичной и вторичной сторон. Этот тип трансформатора называется **автотрансформатором**. Коэффициент такого трансформатора не может превышать 2:1.



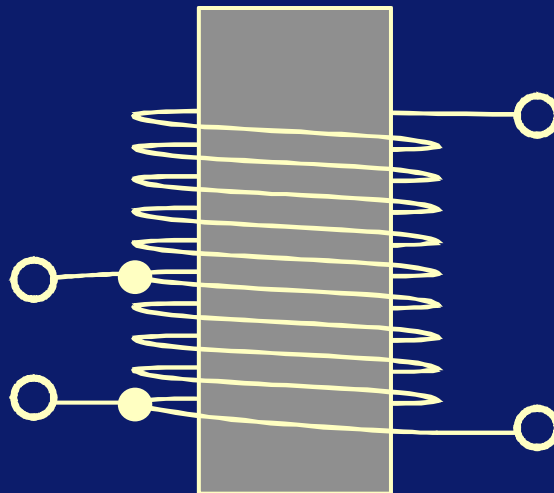
# Трансформаторы

Бывают автотрансформаторы с большими коэффициентами, но количество требуемого металла для них обычно делает их неэкономичными.



# Трансформаторы

Процедура вычисления вторичного напряжения и силы тока та же, что и для трансформаторов с двумя обмотками.



# Автотрансформаторы

- Автотрансформаторы нельзя использовать с PSI или других DME (скважинные датчики), так как возвратный сигнал постоянного тока в кабеле через поверхность будет заблокирован потенциалом напряжения.

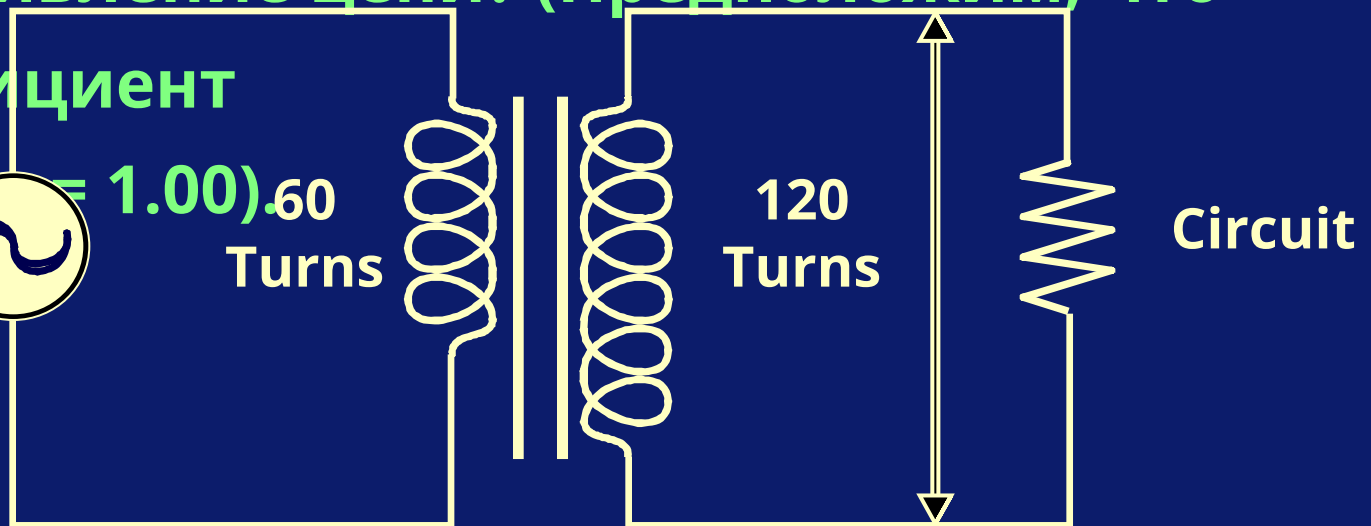


# Трансформаторы

Ниже приведена цепь, соединенная с электрической системой через трансформатор. Нагрузка на систему составляет 800 Вт. Каковы вторичные напряжение и сила тока и каково сопротивление цепи? (Предположим, что

коэффициент

100V  
AC  
800W



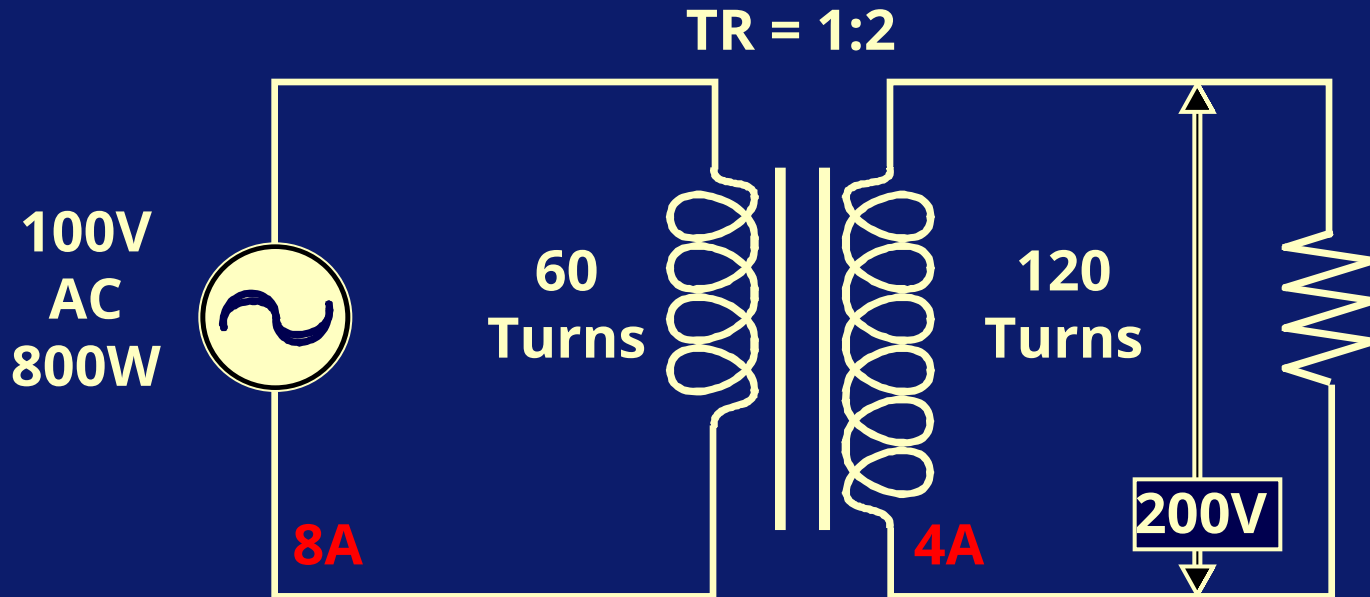
TR = 60:120 or 1:2

$$\text{Watts} = V \times A, \quad A = \frac{W}{V}$$

$$I_P = \frac{800}{100} = 8A$$

$$I_S = 8A \times 0.5 = 4A$$

$$V_S = \frac{100V}{0.5} = 200V$$

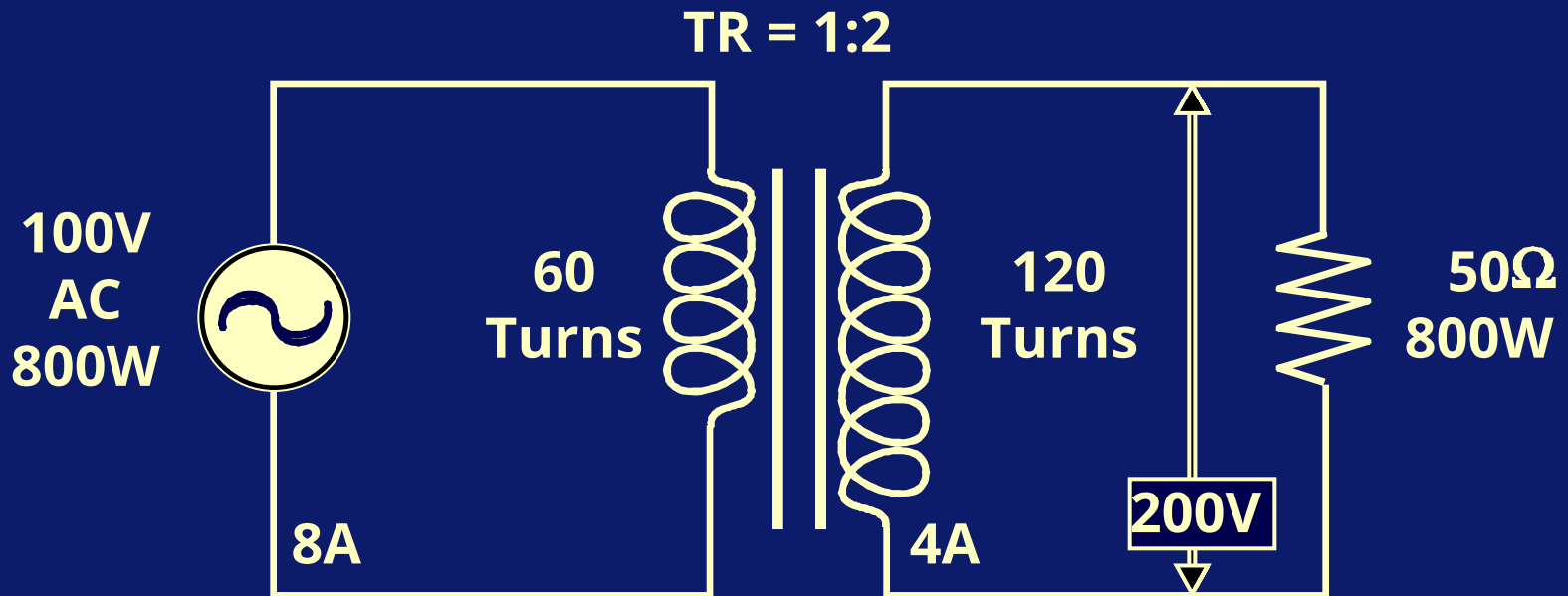


# Трансформаторы

Сопротивление можно вычислить по закону

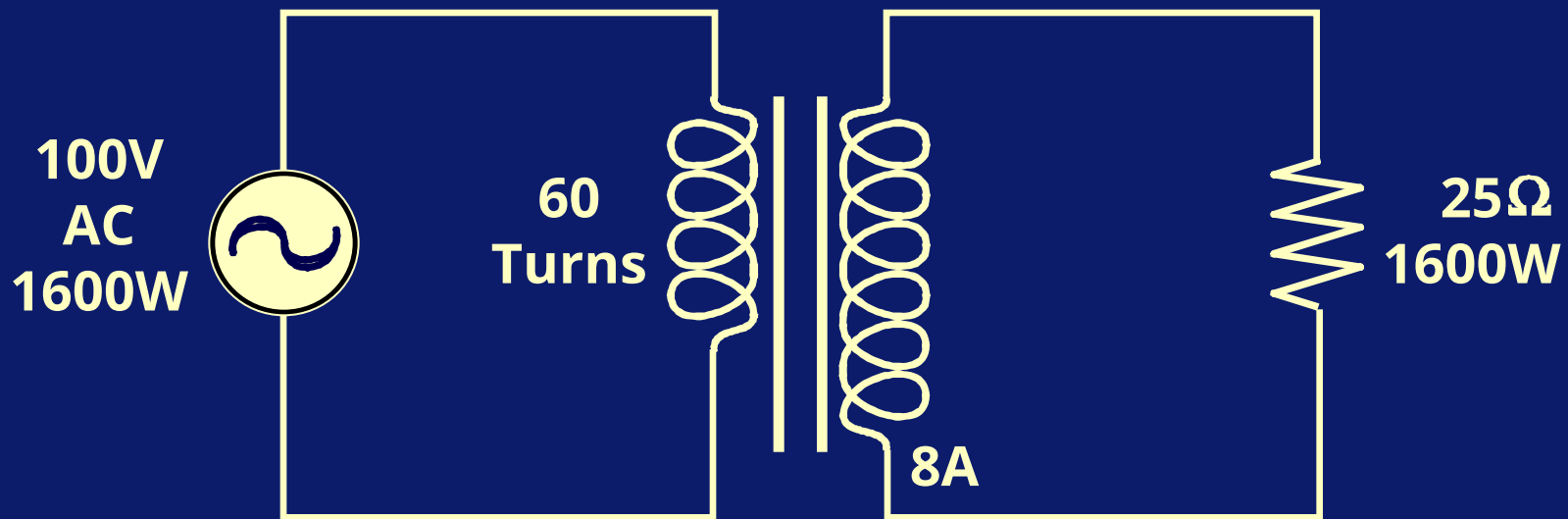
Ома:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{200}{4} = 50\Omega$$



# Трансформаторы

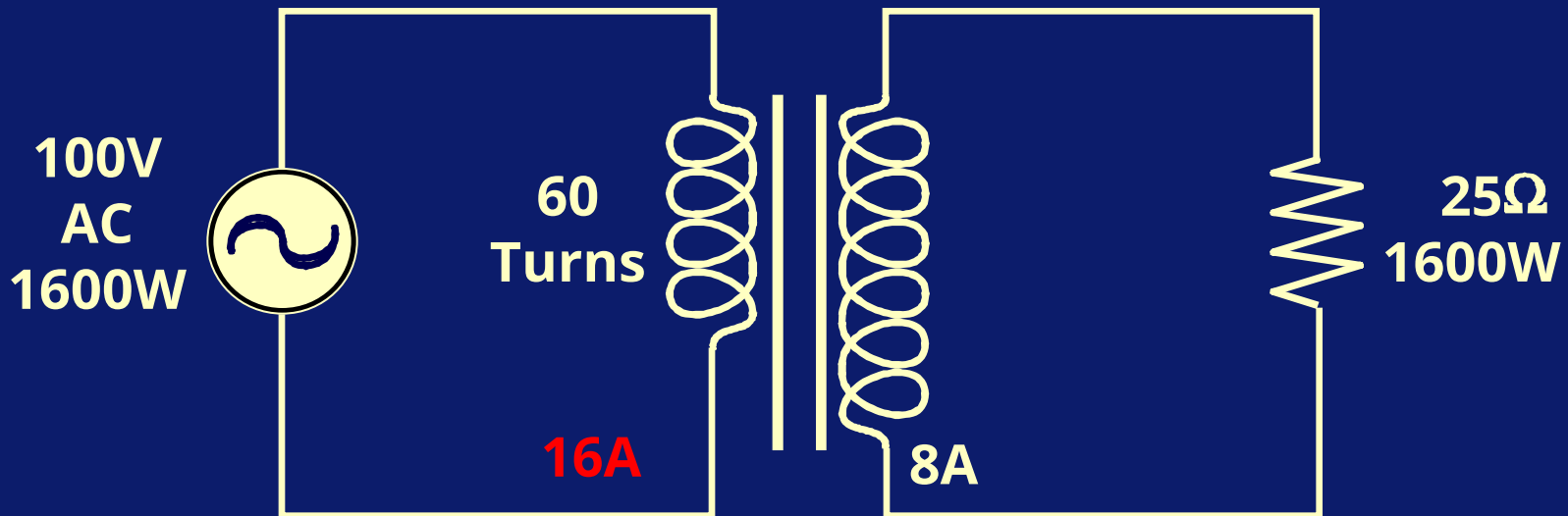
Сколько витков вторичной обмотки в данной цепи?



# Трансформаторы

Сначала нужно вычислить первичную силу тока.

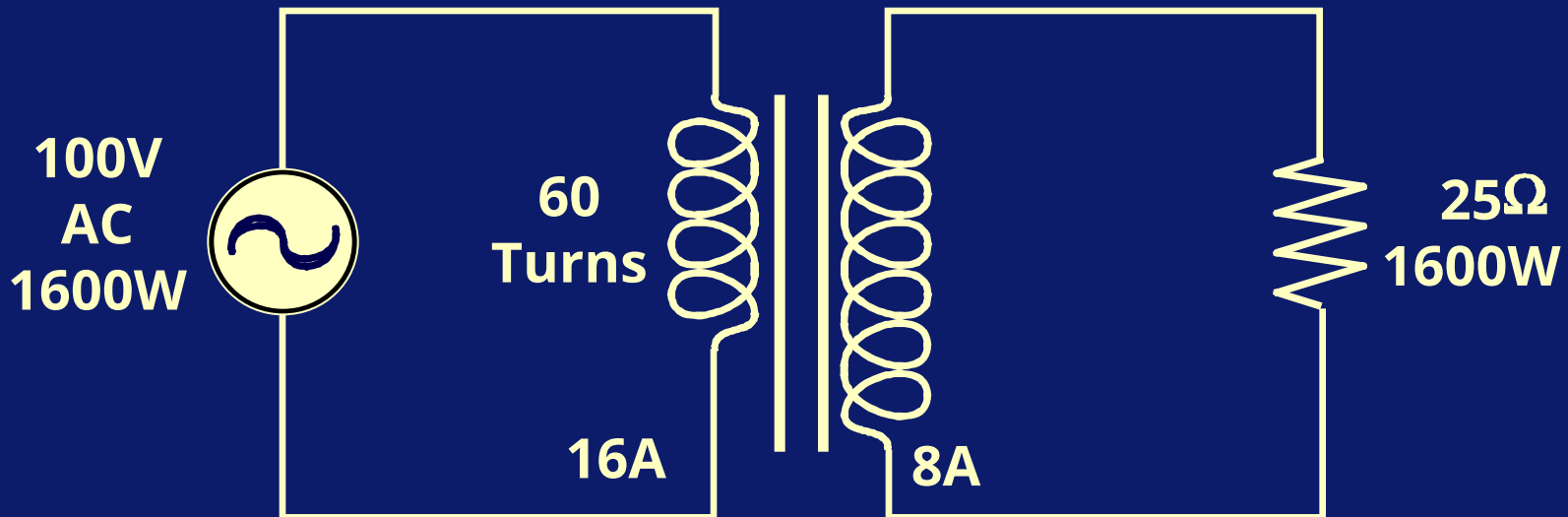
$$I_P = \frac{1600}{100} = 16A$$



# Трансформаторы

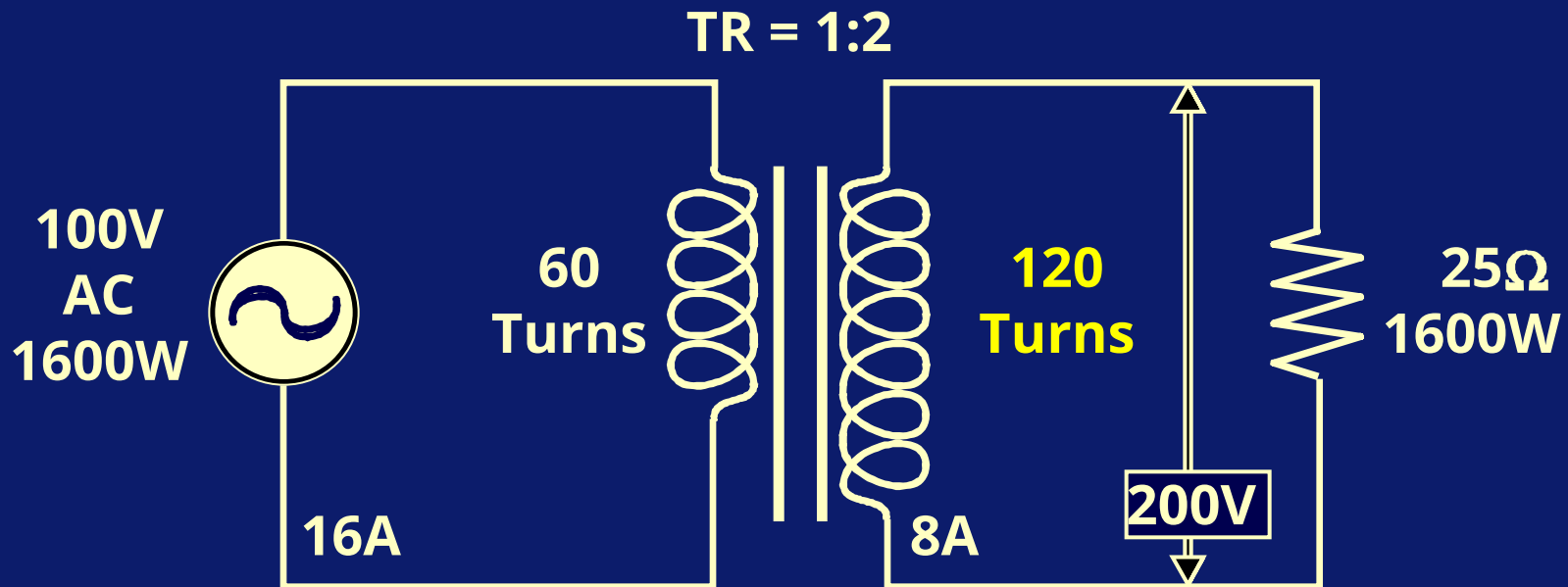
Теперь можно вычислить коэффициент трансформации:

$$TR = \frac{I_s}{I_p} = \frac{8}{16} = 1:2$$



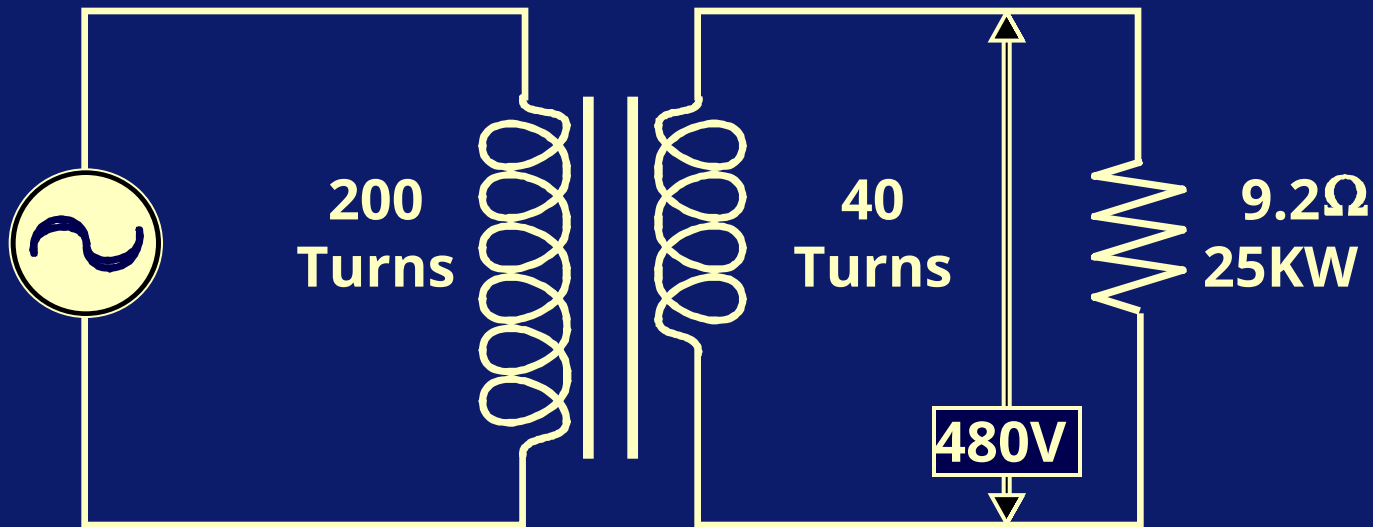
# Трансформаторы

Количество вторичных  
ВИТКОВ =  $\frac{N^{\circ} \text{ Prim.}}{TR} = \frac{60}{0.5} = 120$



# Трансформаторы

Какое первичное напряжение требуется в данной цепи, чтобы вторичное напряжение составило 480 В?

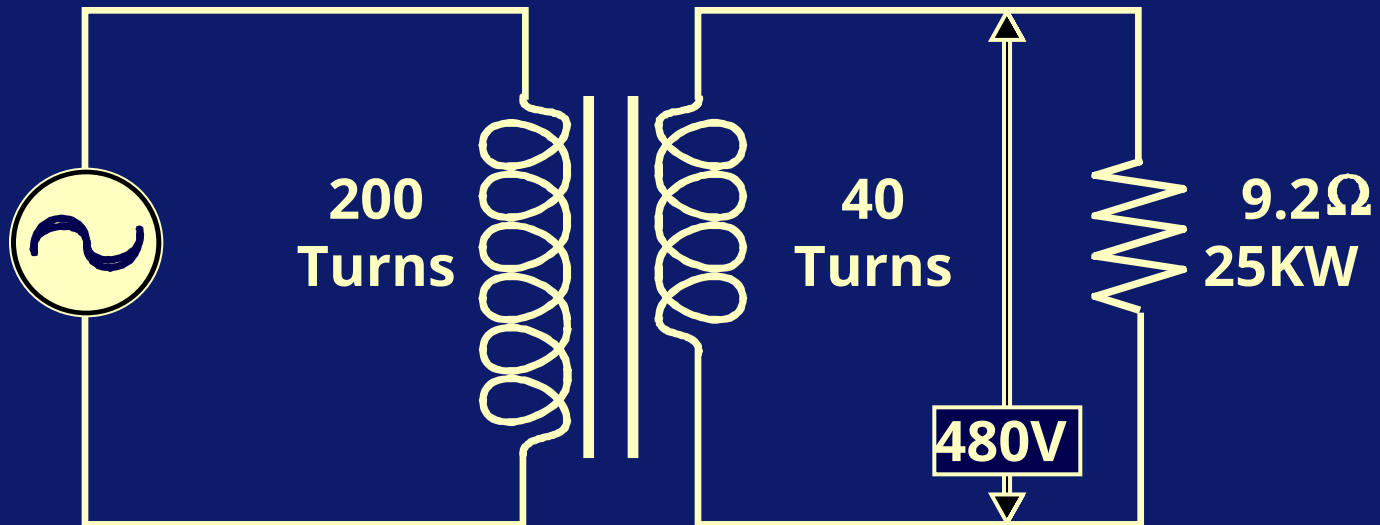




# Трансформаторы

Коэффициент трансформации можно  
вычислить напрямую.

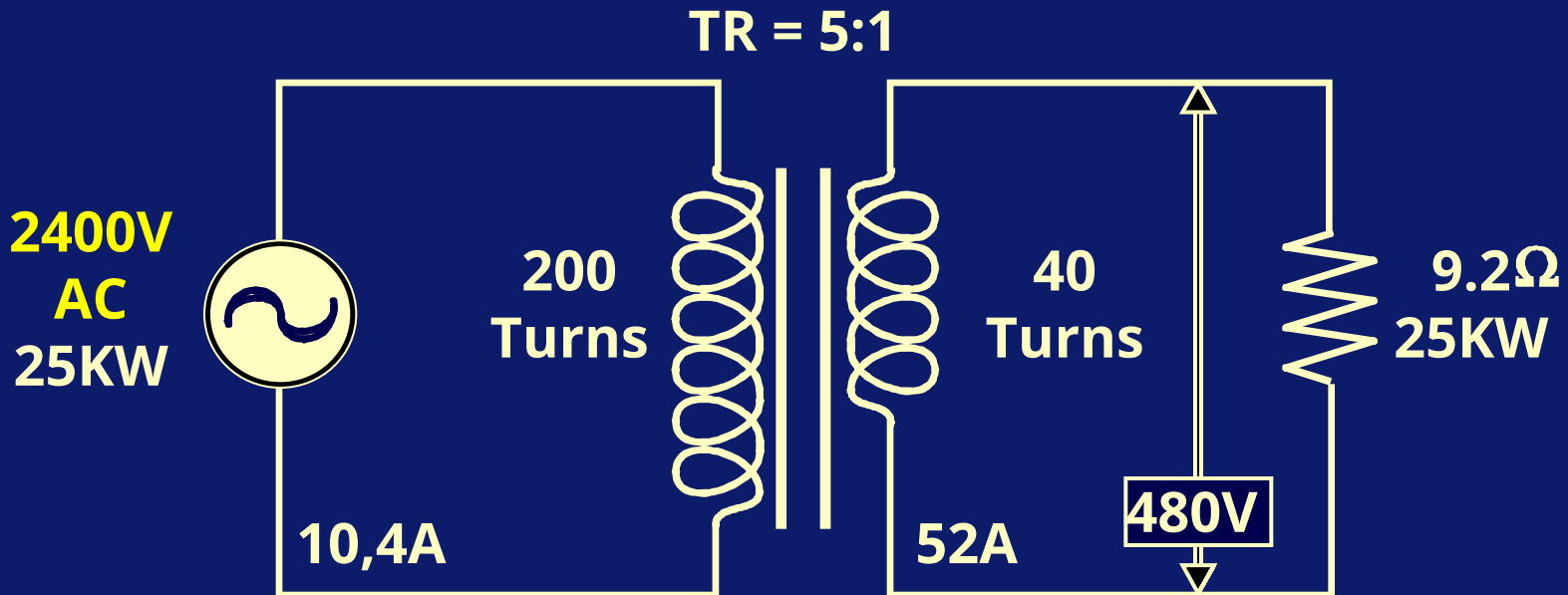
$$TR = \frac{200}{40} = 5:1$$



# Трансформаторы

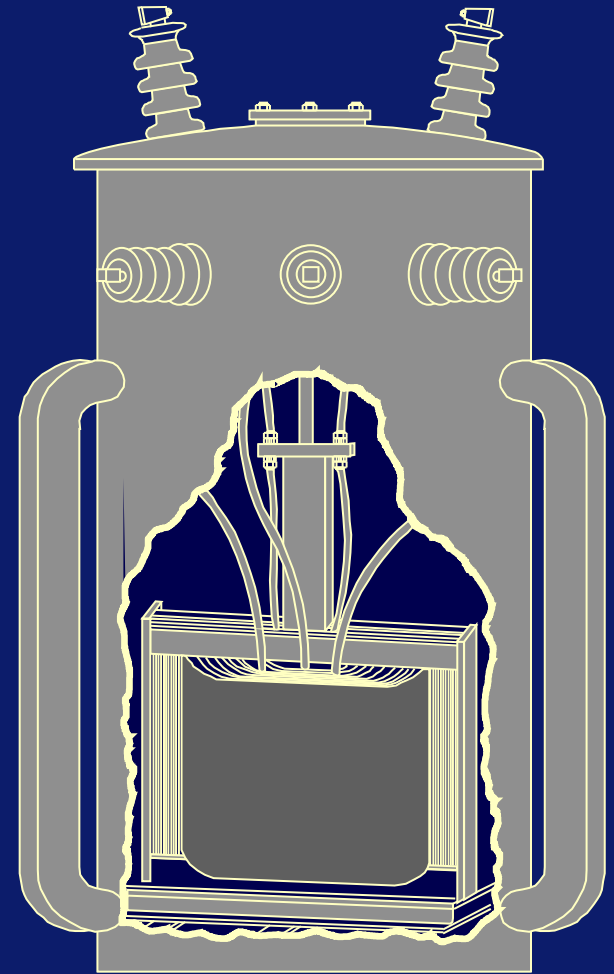
Первичное напряжение будет составлять:

$$V_P = V_S \times TR = 480 \times 5 = 2400V$$



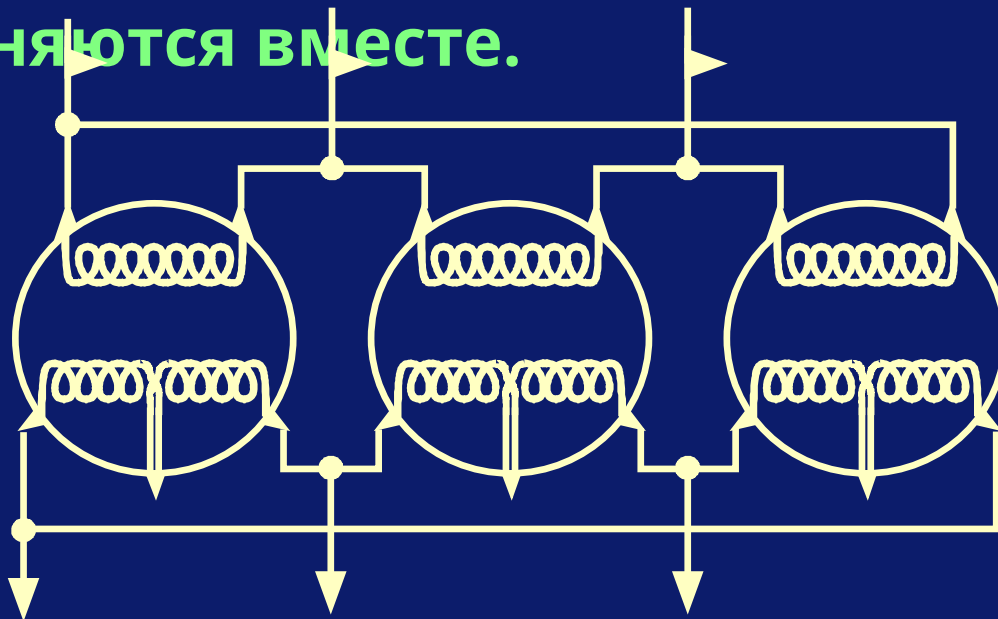
# Трансформаторы

Трансформаторы могут быть как однофазными, так и трехфазными. Однофазный трансформатор зачастую похож на трансформатор, приведенный на рисунке.



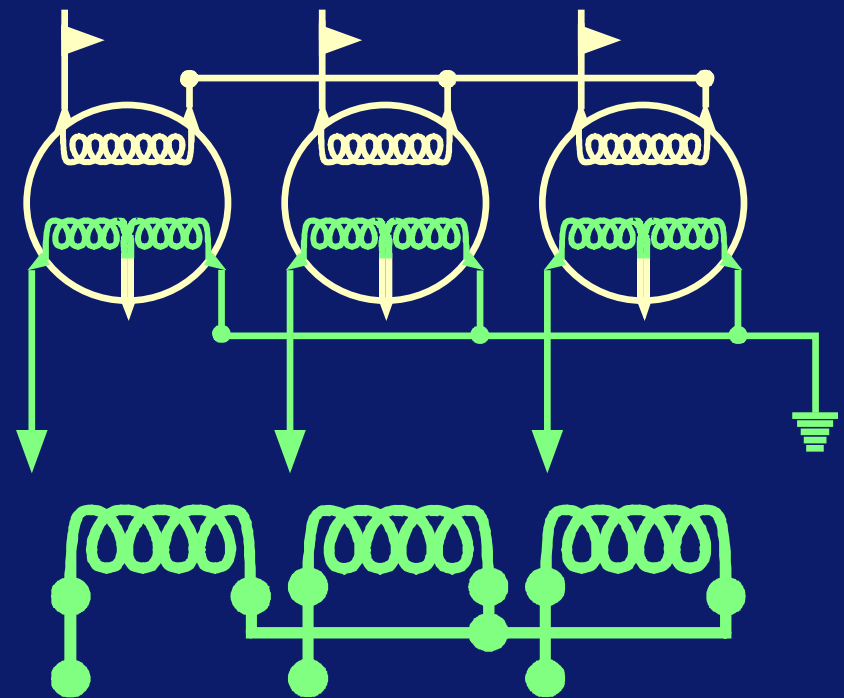
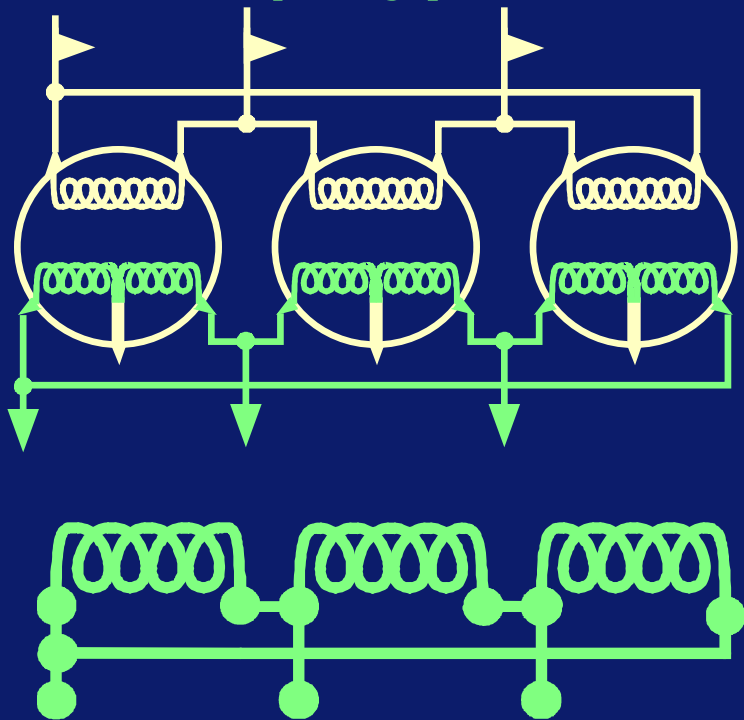
# Трансформаторы

Обычно, когда используются однофазные трансформаторы для трехфазной энергии, три индивидуальных трансформатора соединяются вместе.

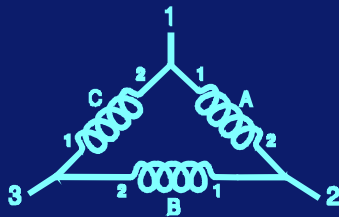
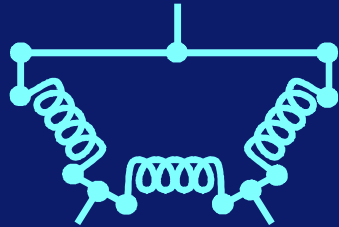
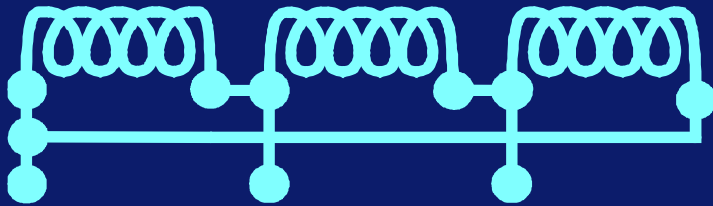


# Трансформаторы

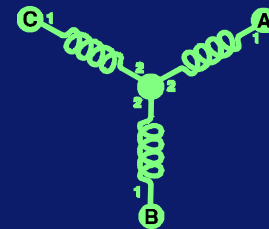
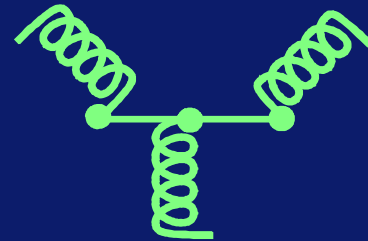
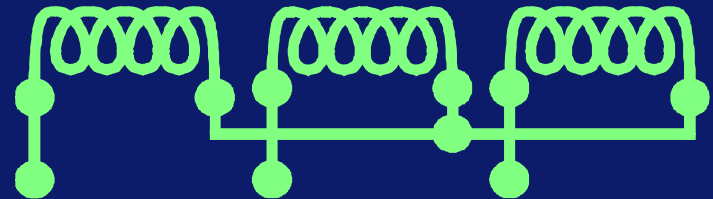
Их возможно соединить в различных конфигурациях.



# Трансформаторы



Соединение  
треугольником



Соединение звездой

# Трансформаторы

В зависимости от местности (или страны)

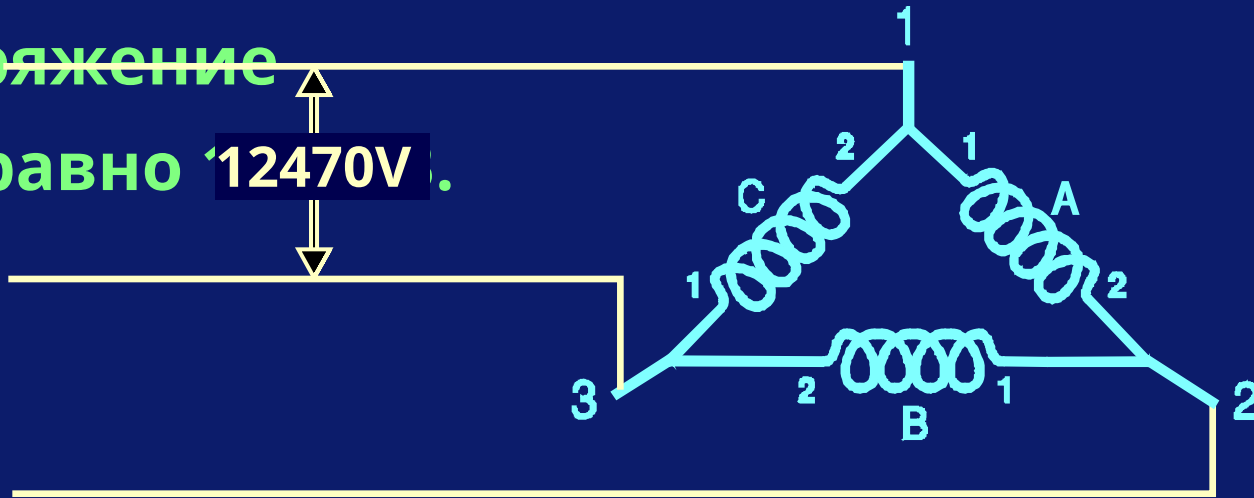
высоковольтные линии могут варьироваться (7200В, 12470В, 24960В, и т. д). Это линейное (междуфазное) напряжение. В зависимости от соединения первичной обмотки трансформатора будет определено действующее линейное напряжение, поступающее на первичную сторону трансформатора.

Как пример мы рассмотрим случай, когда

# Трансформаторы

Если трансформаторы соединены  
треугольником, то фазное напряжение будет  
равно линейному напряжению. Фазное  
напряжение

будет равно **12470V**.

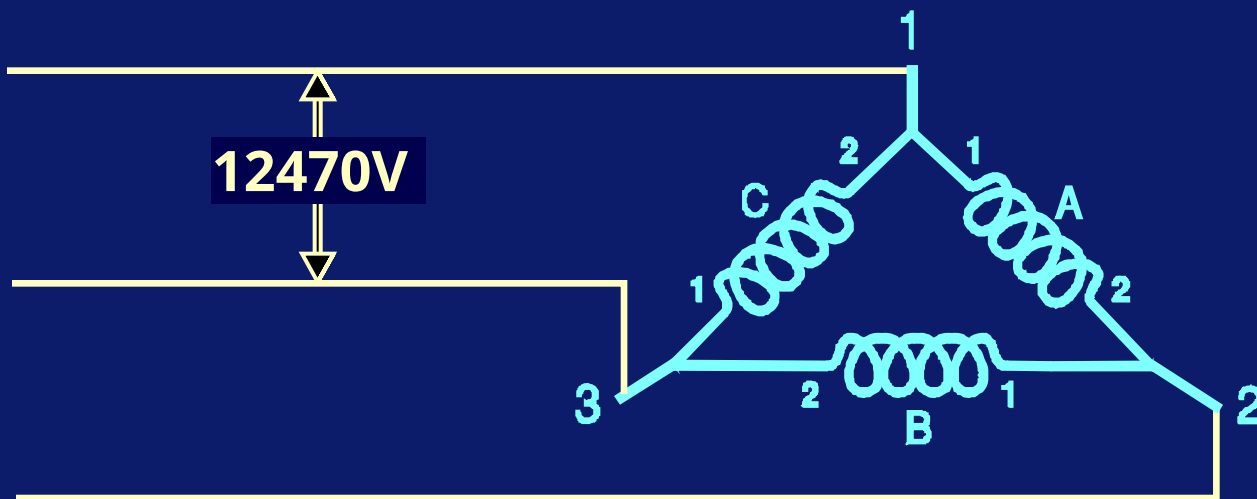




# Трансформаторы

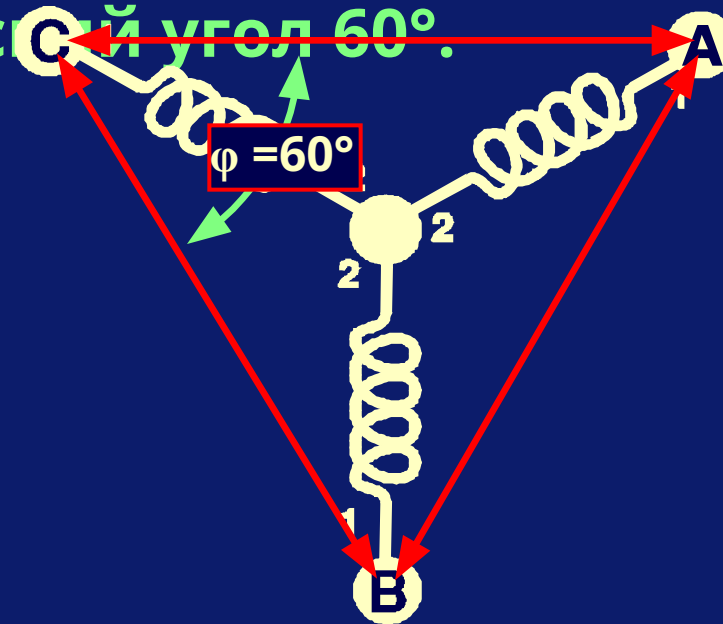
Если линейное напряжение = 12470В и сила тока = 6А, то КВА будут составлять:

$$\text{KVA} = \frac{12470 \times 6 \times 1.732}{1000} = 129.6 \text{ KVA}$$



# Трансформаторы

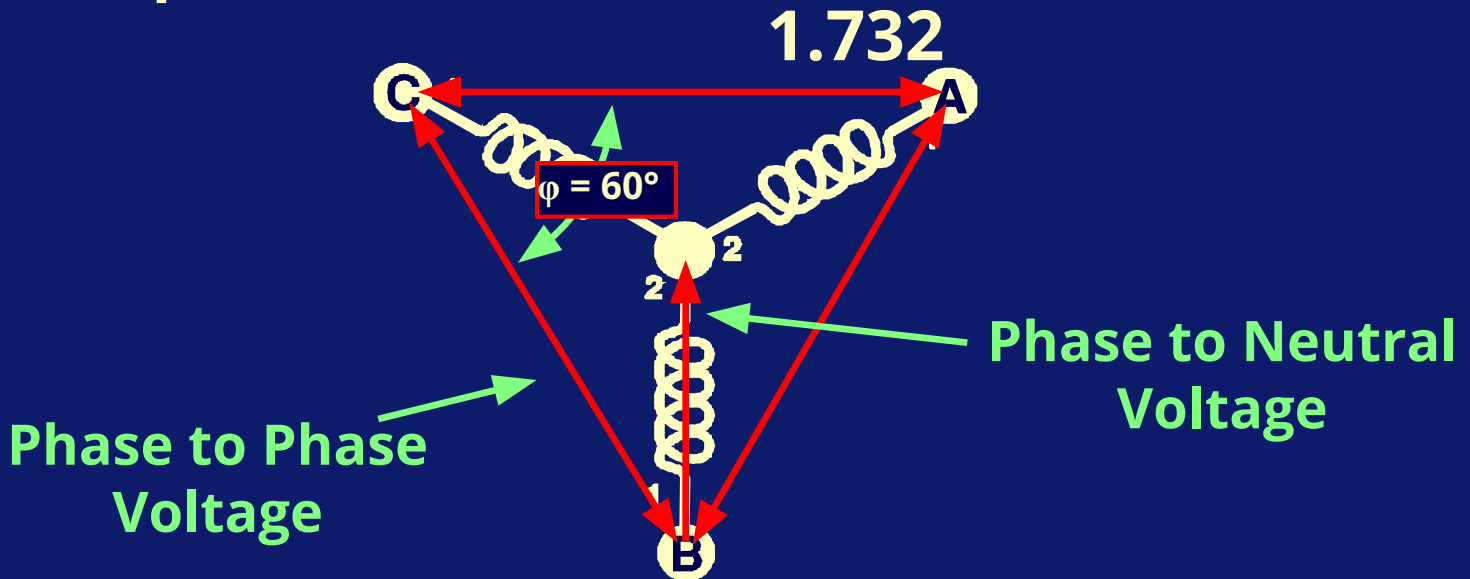
С другой стороны, если трансформаторы соединены звездой на первичной стороне, тогда между каждой фазой будет электрический угол  $60^\circ$ .



# Трансформаторы

Для того чтобы вычислить значение линейного напряжения на обмотках трансформатора, необходимо разделить линейное напряжение на квадратный корень трех.

$$\text{Фазное напряжение} = \frac{\text{Линейное напряжение}}{1.732}$$

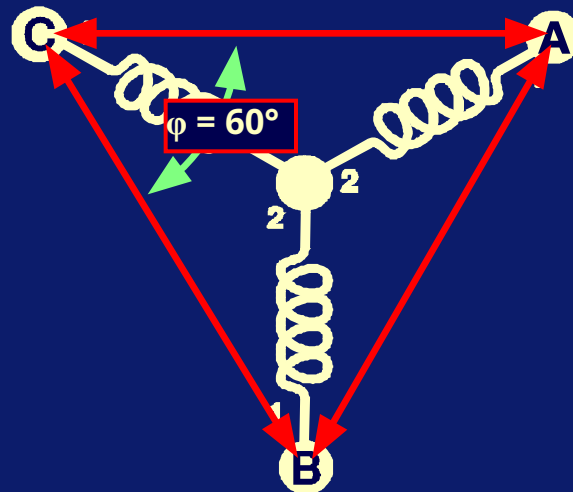


# Трансформаторы

Если линейное напряжение = 12470V и сила тока = 6A, то KVA =

Фазное напряжение  $\sqrt{12470 / 3} =$   
7200V

$$\text{KVA} = \frac{7200 \times 6 \times \sqrt{3}}{1000} = 74.8 \text{ KVA}$$



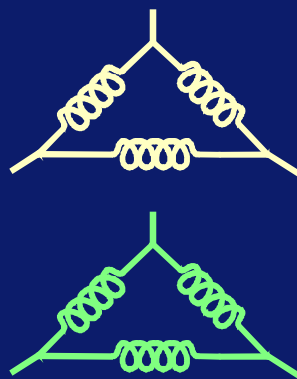
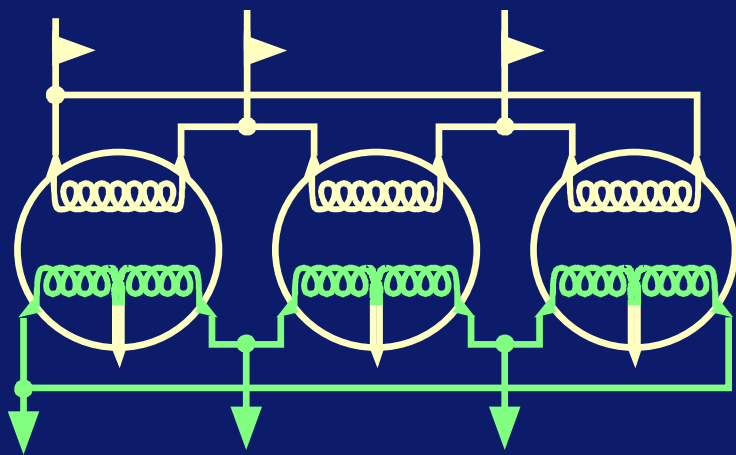
# Трансформаторы

Это соотношение может быть очень полезным.

Например, если первичная обмотка трансформатора рассчитана только на 7200 Вольт, а верхний предел мощности составляет 12470В, то этот трансформатор можно использовать только в случае, если он подключен соединением звездой на первичной стороне.

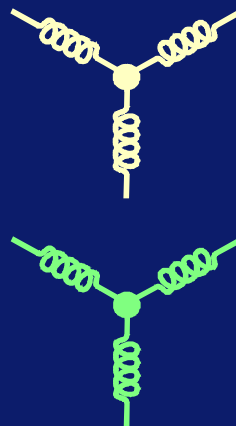
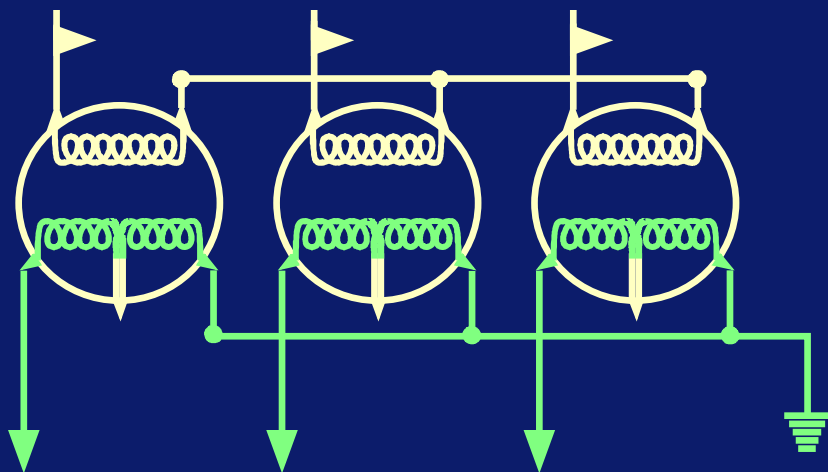
# Трансформаторные соединения

Эта компоновка показывает трансформаторы, соединенные «треугольник-треугольник».



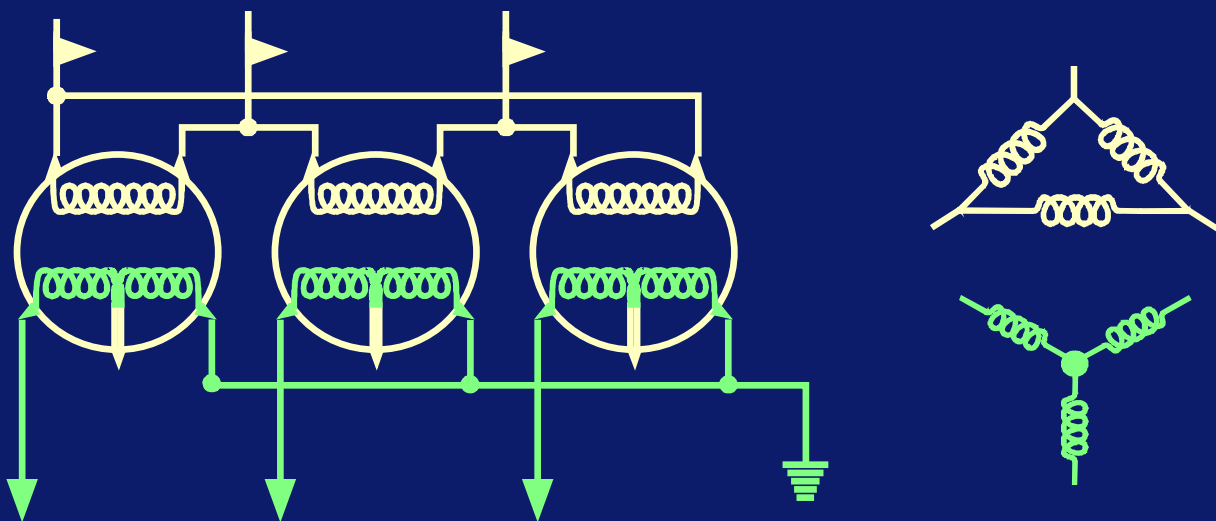
# Трансформаторные соединения

В этом примере трансформаторы соединены «звезда-звезда».



# Трансформаторные соединения

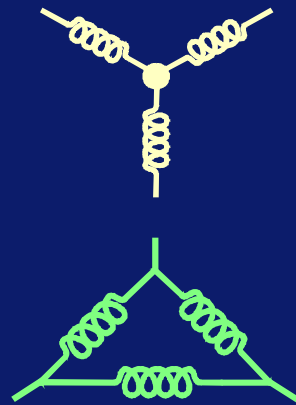
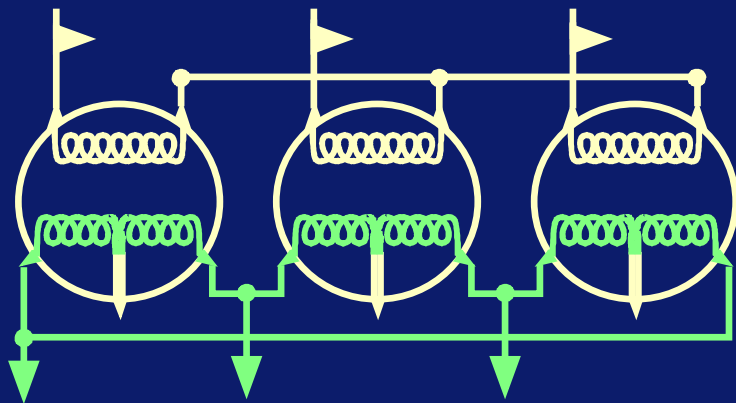
В этом случае соединение трансформаторов – «треугольник-звезда».





# Трансформаторные соединения

Еще одна комбинация – «звезда-треугольник».



# Трансформаторы

**Повышающие трансформаторы VSD**

**(высокочастотные преобразователи) –  
обычно трехфазные трансформаторы и  
используются для повышения относительно  
низкого напряжения на выходе VSD до  
значений, подходящих для  
электропогружных двигателей (принимая во  
внимание потери напряжения в кабеле).**

# Трансформаторы

Типичный шильдик этого типа трансформатора может быть следующего вида:

SOUTHWEST ELECTRIC CO.

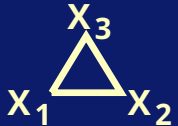
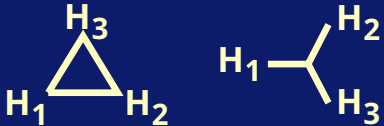
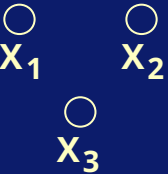
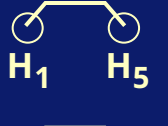




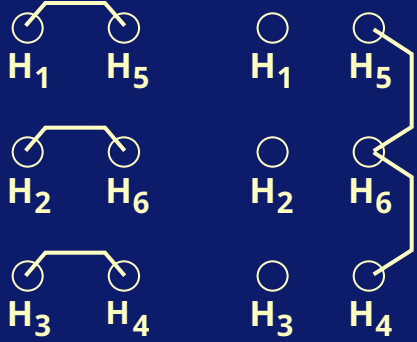
Oklahoma City, Oklahoma USA

**fact<sup>®</sup> III**

**f**ull **a**mp **C**apacity **t**ransformer

kVA 520 Hz 60 Phases 3

	Voltage	Amperes	kVBIL	COND.
Primary	480	625	30	ALUM.
Secondary	3811/1100	79/273	60	ALUM.
Impedance (Rated kVA) 4.27 % at 85 °C				

Primary Voltage Across X <sub>1</sub> - X <sub>2</sub> - X <sub>3</sub>	Secondary Voltage Across H <sub>1</sub> - H <sub>2</sub> - H <sub>3</sub>																																																
	 		Sw. No. 1 Pos. No. 1	Sw. No. 1 Pos. No. 2																																													
 <b>480 V</b>			 	 																																													
			<table border="1"> <tr> <td>2200</td> <td>3811</td> <td>1</td> <td>1650</td> <td>2858</td> </tr> <tr> <td>2131</td> <td>3691</td> <td>2</td> <td>1581</td> <td>2739</td> </tr> <tr> <td>2062</td> <td>3572</td> <td>3</td> <td>1512</td> <td>2620</td> </tr> <tr> <td>1994</td> <td>3453</td> <td>4</td> <td>1444</td> <td>2501</td> </tr> <tr> <td>1925</td> <td>3334</td> <td>5</td> <td>1375</td> <td>2382</td> </tr> <tr> <td>1856</td> <td>3215</td> <td>6</td> <td>1306</td> <td>2262</td> </tr> <tr> <td>1787</td> <td>3096</td> <td>7</td> <td>1237</td> <td>2143</td> </tr> <tr> <td>1719</td> <td>2977</td> <td>8</td> <td>1169</td> <td>2024</td> </tr> <tr> <td>1650</td> <td>2858</td> <td>9</td> <td>1100</td> <td>1905</td> </tr> </table>	2200	3811	1	1650	2858	2131	3691	2	1581	2739	2062	3572	3	1512	2620	1994	3453	4	1444	2501	1925	3334	5	1375	2382	1856	3215	6	1306	2262	1787	3096	7	1237	2143	1719	2977	8	1169	2024	1650	2858	9	1100	1905	
	2200	3811	1	1650	2858																																												
	2131	3691	2	1581	2739																																												
	2062	3572	3	1512	2620																																												
	1994	3453	4	1444	2501																																												
	1925	3334	5	1375	2382																																												
	1856	3215	6	1306	2262																																												
	1787	3096	7	1237	2143																																												
1719	2977	8	1169	2024																																													
1650	2858	9	1100	1905																																													

SOUTHWEST ELECTRIC CO.

Oklahoma City, Oklahoma USA

fact<sup>®</sup> III

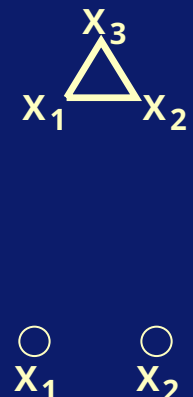
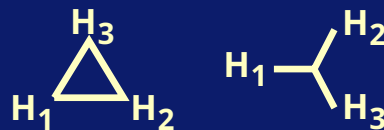
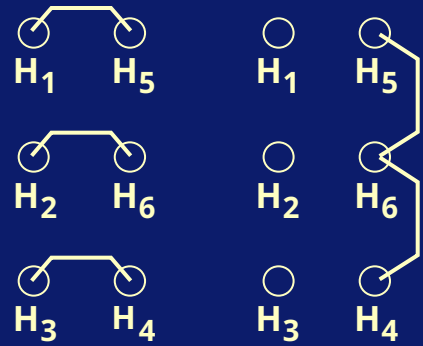


full amp Capacity transformer

kVA 520 Hz 60 Phases 3

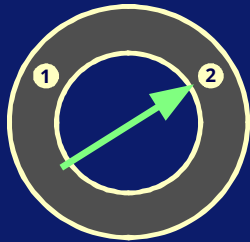
	<u>Voltage</u>	<u>Amperes</u>	<u>kVBIL</u>	<u>COND.</u>
<u>Primary</u>	<u>480</u>	<u>625</u>	<u>30</u>	<u>ALUM.</u>
<u>Secondary</u>	<u>3811/1100</u>	<u>79/273</u>	<u>60</u>	<u>ALUM.</u>
<u>Impedance (Rated kVA)</u>	<u>4.27 % at 85 °C</u>			

Это нам говорит, что трансформатор трехфазовый и имеет в наличии до 520 КВА с 480 В при 60 Гц на выходе. Если входящее напряжение меньше 480В, то КВА будут меньше.

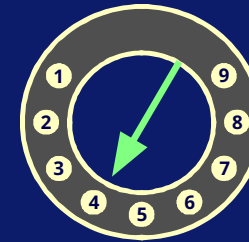
Эта часть указывает, как нужно регулировать трансформатор, чтобы получить различные вторичные напряжения. Например, как нужно настроить трансформатор, чтобы получить вторичное напряжение 2450В, если первичное составляет 480В?

Primary Voltage Across $X_1 - X_2 - X_3$	Secondary Voltage Across $H_1 - H_2 - H_3$				
 <p>480 V</p>		<b>Sw. No. 1 Pos. No. 1</b>	<b>Sw. No. 1 Pos. No. 2</b>		
					
		2200	3811	1	1650 2858
		2131	3691	2	1581 2739
		2062	3572	3	1512 2620
		1994	3453	4	1444 2501
		1925	3334	5	1375 2382
		1856	3215	6	1306 2262
		1787	3096	7	1237 2143
1719	2977	8	1169 2024		
1650	2858	9	1100 1905		


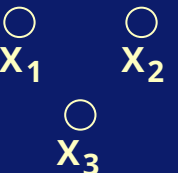
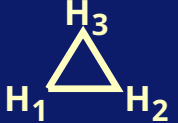
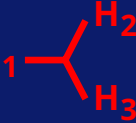
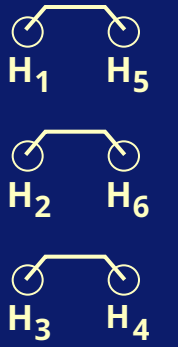
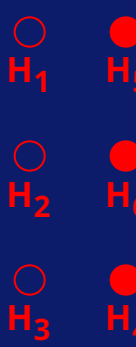





Вторичная обмотка должна быть соединена «звездой», переключатель No 1 должен быть поставлен в положение 2 и секционный селекторный переключатель No 2 должен быть поставлен в положение 4.




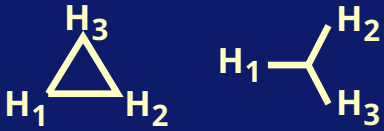
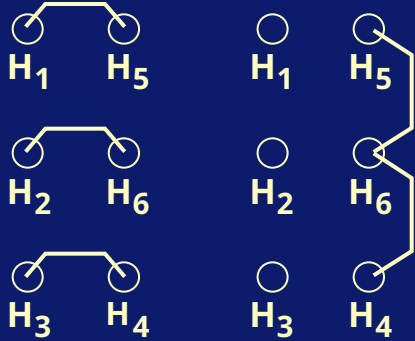


Selector N° 1



Selector N° 2

Primary Voltage Across $X_1 - X_2 - X_3$	Secondary Voltage Across $H_1 - H_2 - H_3$					
  <p>480 V</p>	 	Sw. No. 1 Pos. No. 1		Sw. No. 1 Pos. No. 2		
	  	 		 		
		2200	3811	1	1650	2858
		2131	3691	2	1581	2739
		2062	3572	3	1512	2620
		1994	3453	4	1444	2501
		1925	3334	5	1375	2382
		1856	3215	6	1306	2262
		1787	3096	7	1237	2143
1719		2977	8	1169	2024	
1650	2858	9	1100	1905		

**Как следует настроить трансформатор, если требуемое вторичное напряжение также составляет 2450В, а первичное напряжение всего лишь 330В?**

Primary Voltage Across $X_1 - X_2 - X_3$	Secondary Voltage Across $H_1 - H_2 - H_3$				
 <p data-bbox="227 1263 343 1299">480 V</p>		Sw. No. 1 Pos. No. 1	Sw. No. 1 Pos. No. 2		
			1		
		2200 3811	1	1650 2858	
		2131 3691	2	1581 2739	
		2062 3572	3	1512 2620	
		1994 3453	4	1444 2501	
		1925 3334	5	1375 2382	
		1856 3215	6	1306 2262	
		1787 3096	7	1237 2143	
1719 2977	8	1169 2024			
1650 2858	9	1100 1905			



Так как первичное напряжение не составляет 480В, то предыдущие настройки переключателя не дадут результат 2450В. С другой стороны, известно, что какое бы положение не было выбрано, коэффициент трансформации остается постоянным.

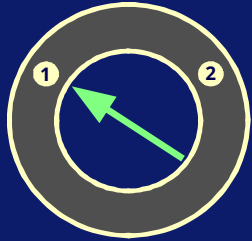
$$\frac{V_{P1}}{V_{S1}} = \frac{V_{P2}}{V_{S2}} \quad (\text{КТ постоянен})$$

Тогда вторичное напряжение на табличке можно вычислить как:

$$\frac{480}{V_{S1}} = \frac{330}{2450}$$

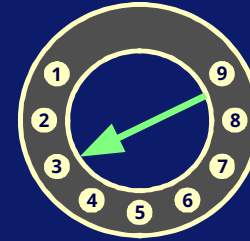
$$V_{S1} = 3564V$$

Вторичная обмотка должна быть соединена по типу «звезда», переключатель No 1 должен быть в положении 2, переключатель No 2 должен быть в положении 3.



Selector N° 1

$$V_{S1} = 3564V$$



Selector N° 2

Primary Voltage Across $X_1 - X_2 - X_3$	Secondary Voltage Across $H_1 - H_2 - H_3$					
  <p>480 V</p>		<p>Sw. No. 1 Pos. No. 1</p>		<p>Sw. No. 1 Pos. No. 2</p>		
			2200	3811	1	1650 2858
			2131	3691	2	1581 2739
			2062	<b>3572</b>	<b>3</b>	1512 2620
			1994	3453	4	1444 2501
			1925	3334	5	1375 2382
			1856	3215	6	1306 2262
			1787	3096	7	1237 2143
			1719	2977	8	1169 2024
			1650	2858	9	1100 1905

# Трансформаторы

И снова инженер-эксплуатационник выберет немного более высокое напряжение, чем рассчитанное. Причина этому в том, что во многих энергосистемах вторичное напряжение немного падает при нагрузке.

# Обзор трансформаторов

- Вторичная обмотка может быть разделена на части и повторно подсоединена как последовательно, так и параллельно, для получения различных напряжений обмотки.
- $H_1H_2$  - Обмотка высокого напряжения, имеющая много витков.
- $X_1X_2$  - Обмотка низкого напряжения, имеющая меньше витков.
- Первичная обмотка всегда подсоединена к источнику энергии.

# Обзор трансформаторов

## Трансформатор трехфазной двойной обмотки или развязывающий трансформатор

- Первичная сторона
  - При подсоединении по типу «звезда», напряжение обмотки равняется междуфазному напряжению, поделенному на  $1.73$
  - При подсоединении по типу «треугольник», напряжение обмотки равняется междуфазному напряжению.
- Вторичная сторона
  - При подсоединении по типу «звезда», напряжение на выходе равняется междуфазному напряжению, умноженному на  $1.73$

# Обзор трансформаторов

Это нужно помнить при описании трансформатора

- Характеристика КВА
  - Когда трансформатор полностью загружен в соответствии с характеристиками КВА, то различие между напряжением без нагрузки и с нагрузкой может быть довольно существенным. (Из-за потерь по причине сопротивления)
- Истинное напряжение
  - Убедитесь, что первичное напряжение не превосходит максимально допустимое напряжение и что напряжение на выходе совместимо с требуемым напряжением на поверхности.
- Монтаж

# Обзор трансформаторов

Это нужно помнить при описании трансформатора

- Номинальные трансформаторы VSD
  - Специальные трансформаторы используются на подводах VSD. Они содержат больше железа, требуемого для большей плотности потока при низких частотах.
- Частота
  - Трансформаторы, рассчитанные на 50 Гц, могут быть использованы в системах 60Гц, но трансформатор 60Гц нельзя

