

# Базовый курс по Электротехнике



## Введение

---

В настоящее время мы все, в той или иной степени, связаны с электричеством. Если это наши профессиональные обязанности, то, без знаний базовых основ электротехники, выполнять их будет очень сложно.

Данный курс объясняет или напоминает об основных параметрах электрических величин, их значениях, применении с точки зрения общей электротехники.

### Разделы курса:



Основные понятия, термины и определения



Электрические сети

## Закон Ома

В основе построения всех электрических схем лежит закон, открытый Георгом Омом:

$$I = U/R$$

В нем установлена связь между тремя основными электротехническими показателями:

- $I$  – сила тока,
- $U$  – напряжение,
- $R$  – сопротивление,

Для сетей **переменного тока** закон Ома выглядит несколько иначе:

$$U = I \times Z, \text{ где}$$

- $U$  – напряжение;
- $I$  – сила тока;
- $Z$  – полное сопротивление. Вычисляется по формуле:

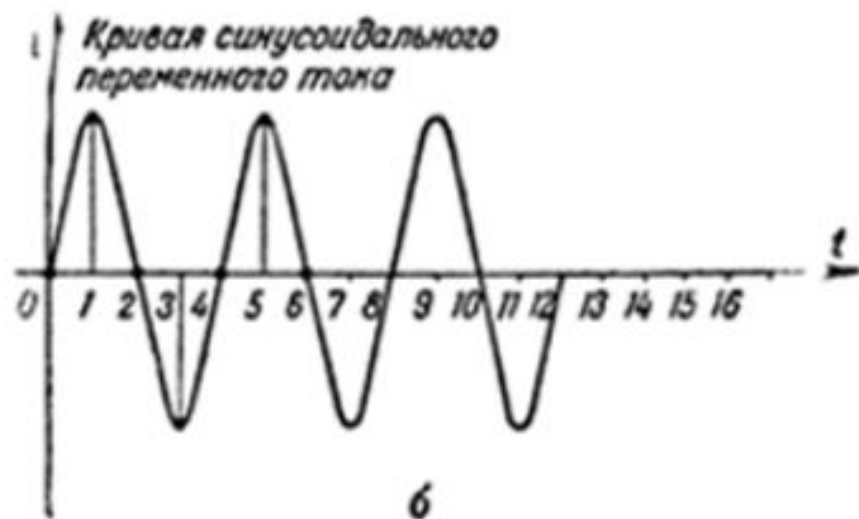
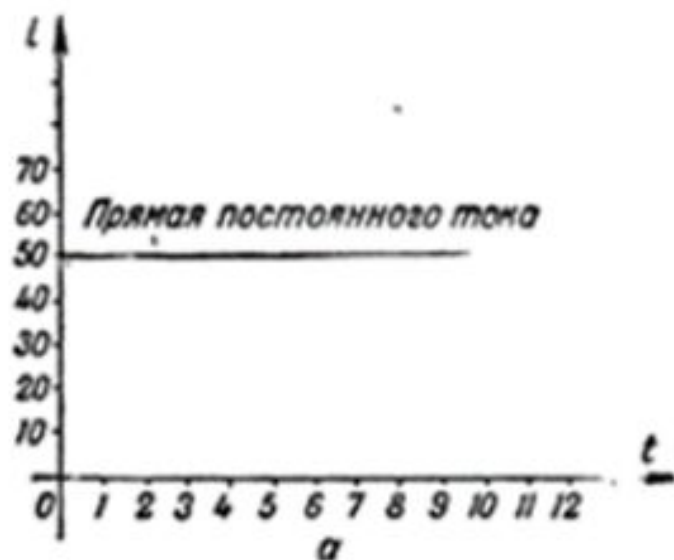
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \text{ где}$$

- $R$  – активное сопротивление;
- $X$  – реактивное сопротивление.

Рассмотрим все эти величины более подробно:

### Что такое «переменный ток»?

**Переменный ток**, в отличие от тока постоянного, непрерывно изменяется как по величине, так и по направлению, причем изменения эти происходят периодически, т. е. точно повторяются через равные промежутки времени.



На рисунке:

а — график постоянного тока;

б — график переменного тока.

## Что такое «сила тока» (электрический ток)?

### Что такое «сила тока» (электрический ток)?

#### Ток

Ток – это количество движущихся в одном направлении электрических зарядов.

Единица измерения – Ампер (А).

#### В электротехнике применяются термины:

- Ток короткого замыкания
- Ток перегрузки
- Номинальный ток
- Дифференциальный ток
- Сверхтоки
- Ток замыкания на землю
- Ток нагрузки
- Ток утечки
- Разрядный ток



## Номинальный ток, Ток нагрузки

### Что такое «номинальный ток»?

#### Номинальный ток

Номинальный ток — ток при нормальном напряжении или при нижнем пределе номинального диапазона напряжения, указанный для машины изготовителем.

*Источник – Российская энциклопедия по охране труда.*

### Что такое «ток нагрузки»?

#### Номинальный ток

**Ток нагрузки** – ток, который потребляет и преобразует в полезную работу нагрузка в электрической сети.

## Что такое «сверхтоки»?

### Сверхтоки

**Сверхтоки** – это токи, значительно превышающие токи установившегося режима.

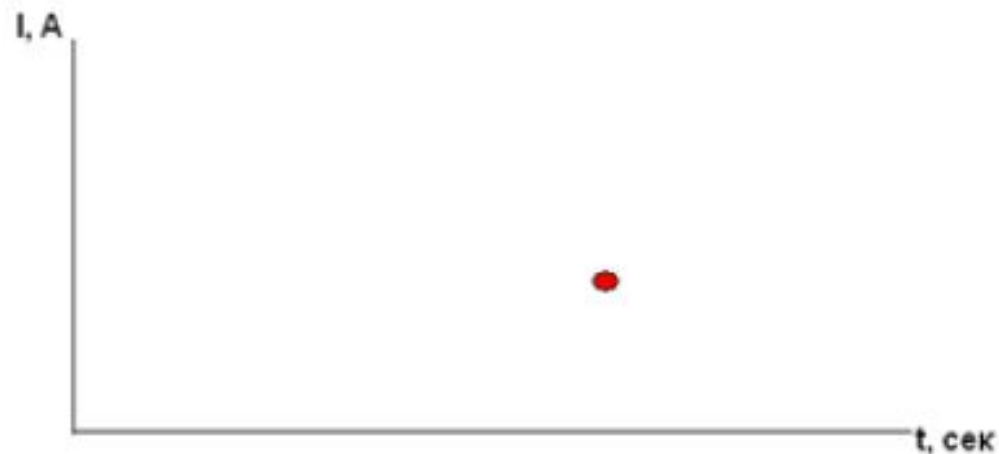
В штатных ситуациях, чаще всего возникают при **переходных процессах**.

Могут привести к срабатыванию аппаратов защиты и отключения, перегоранию приборов, обгоранию контактов.

### Что такое переходной процесс?

Переходным называют процесс в электрической цепи при переходе от одного установившегося режима к другому.

Например, когда Вы включили или выключили электромотор.



# Пусковые токи потребителей электроэнергии:

## ПУСКОВОЙ ТОК

Пусковой ток – это ток, который кратковременно возникает в цепи при включении электроприбора. Он может во много раз превосходить номинальный ток прибора.

Потребитель	Кратность пускового тока	Длительность импульса пускового тока, с.
Лампы накаливания	5-13	0,05-0,3
Электронагревательные приборы из сплавов: <u>нихром</u> , <u>фехраль</u> , <u>хромаль</u>	1,05-1,1	0,5-30
Люминесцентные лампы с пусковыми устройствами	1,05-1,1	0,1-0,5
Приборы с выпрямителем на входе блока питания	5-10	0,25-0,5
Приборы с трансформатором на входе блока питания	до 3	0,25-0,5
Устройства с электродвигателями	3-7	1-3

7.1.83. Суммарный ток утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить 1/3 номинального тока УЗО. При отсутствии данных ток утечки электроприемников следует принимать из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети — из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника.

8.7.14 Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО должен быть не менее чем в три раза больше суммарной величины тока утечки защищаемой сети с учетом подключенных стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы.

Для электроприемников с номинальным током, превышающим 32 А, при отсутствии данных о токе утечки электроприемников величину его следует принимать из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а величину тока утечки сети – из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника.





7.1.83. Суммарный ток утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить  $1/3$  номинального тока УЗО. При отсутствии данных ток утечки электроприемников следует принимать из расчета  $0,4$  мА на  $1$  А тока нагрузки, а ток утечки сети — из расчета  $10$  мкА на  $1$  м длины фазного проводника.

**И<sub>расч.утечки</sub> < 1/3I<sub>ут.</sub>**

Т.е., если УЗО на  $30$  мА, то расчетный ток утечки не должен превышать  $10$  мА. Наверняка вы думаете, почему  $10$  мА, если УЗО на  $30$  мА? А все дело в том, что УЗО срабатывает при токе утечки  $0,5I_{n.ут.}$  УЗО с током утечки  $30$  мА сработает при токе утечки  $15$  мА.



ГОСТ Р 50807

Защитные устройства, управляемые дифференциальным (остаточным) током.  
Общие требования

**п.5.4.** Предпочтительное значение номинального не отключающего дифференциального тока равно  **$0,5 I_{\Delta n}$**



Срабатывание УЗО



8.7.14 Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО должен быть не менее чем в три раза больше суммарной величины тока утечки защищаемой сети с учетом подключенных стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы.

Для электроприемников с номинальным током, превышающим  $32$  А, при отсутствии данных о токе утечки электроприемников величину его следует принимать из расчета  $0,4$  мА на  $1$  А тока нагрузки, а величину тока утечки сети — из расчета  $10$  мкА на  $1$  м длины фазного проводника.

**как рассчитать ток утечки при расчетном токе  $25$  А и длине кабеля  $1$  м?**

$$25 * 0,4 + 1 * 0,01 = 10,01 \text{ мА} > 10 \text{ мА}$$

## Ток короткого замыкания

### Определение

#### Что такое «Ток короткого замыкания»?

##### Ток короткого замыкания

**Ток короткого замыкания** – не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание через малое сопротивление токопроводящих частей, имеющих различную полярность (постоянный ток), подключенных к различным фазам (многофазный переменный ток) или имеющих различные потенциалы (замыкание на землю, заземленные предметы и нулевые провода).

Короткое замыкание (КЗ) в электроустановках приводит к возникновению пожара из-за высокой температуры дуги в зоне замыкания (около 2000 - 4000°C). Характеризуется следующими показателями: способностью изоляции проводов возгораться от нагрева токопроводящих частей током или дугой КЗ; способностью образовывать в момент замыкания расплавленные (горящие) частицы проводниковых материалов, которые, разлетаясь на значительные расстояния, могут создавать самостоятельные очаги пожара.

*(Источник - Российская энциклопедия по охране труда)*



## Ток короткого замыкания

### Практика

На практике это выглядит так – в проводах повреждена изоляция от времени или по другим причинам (крысы очень любят грызть изоляцию), происходит замыкание проводников между собой и появляются эффекты, описанные выше.



## Ток перегрузки

### Что такое ток «перегрузки»?



#### Ток перегрузки

Ток, величина которого превышает наибольшее номинальное значение (по СТ МЭК 50(151)-78)

*Источник: Термины и определения в электроэнергетике. Справочник.*

Для защиты от токов перегрузки применяются автоматические выключатели. Например, ВА - 88 или ВА - 47 ИЭК®.





### Что такое «ток утечки»?

#### Ток утечки

**Ток утечки** - ток, который протекает в землю или на сторонние проводящие части в электрической неповрежденной цепи. Ток утечки в сети с изолированной нейтралью - ток, протекающий между фазой и землей. Ток утечки в сети постоянного тока - ток, протекающий между полюсом и землей. Ток утечки в сети с заземленной нейтралью - ток, протекающий по участку электрической цепи, соединенному параллельно с нулевым рабочим проводником, а при отсутствии нулевого рабочего проводника – ток нулевой последовательности.

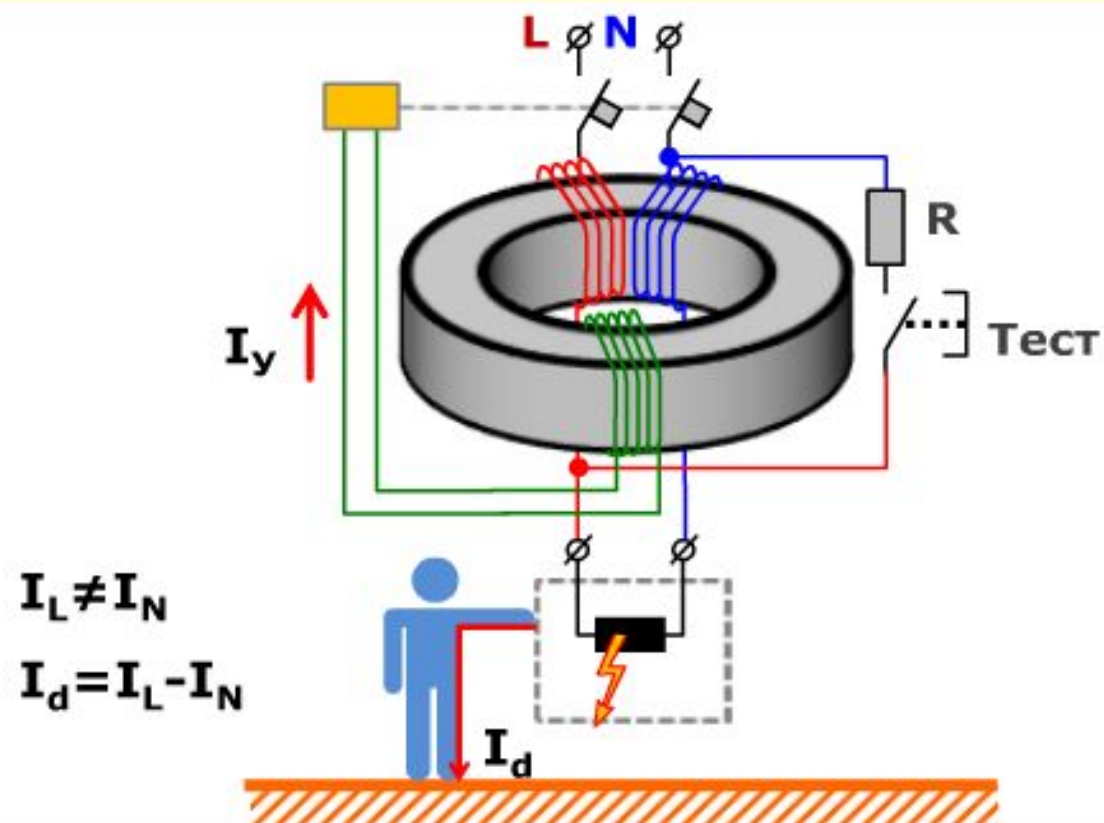
*Источник – Российская энциклопедия по охране труда.*

## Что такое «дифференциальный ток»?

### Дифференциальный ток

Дифференциальный ток – это разность тока между фазным и «0» проводниками. Понятие «дифференциальный ток» применяется в описаниях УЗО и дифференциальных автоматов

На рисунке показана схема срабатывания выключателя дифференциального IEK® ВД1 – 63, при возникновении нештатной ситуации.

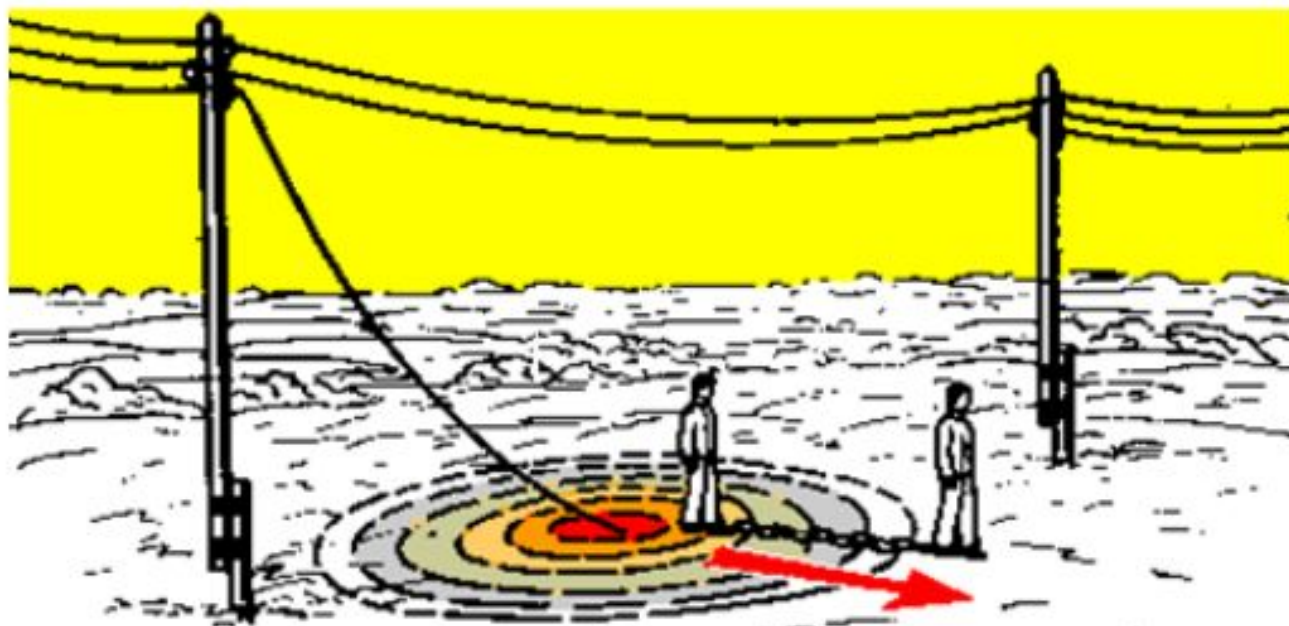


### Что такое «ток замыкания на землю»?

#### Ток замыкания на землю

**Ток замыкания на землю** - Ток, проходящий через место замыкания на землю.

**Замыкание на землю** – случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с конструктивными элементами, не изолированными от земли, или непосредственно с землей.





### Что такое «разрядный ток»?

#### Разрядный ток

**Разрядный ток номинальный** - максимальное (амплитудное) значение грозового импульса тока 8/20 мкс, используемое для классификации ограничителей перенапряжений. (ГОСТ Р 52725)

Различают два понятия:

- **Номинальный импульсный разрядный ток ( $I_n$ )**. Это пиковое значение испытательного импульса тока формы 8/20 мкс, проходящего через защитное устройство. Ток данной величины защитное устройство может выдерживать многократно. Используется для испытания УЗИП класса II. При воздействии данного импульса определяется уровень защиты устройства. По этому параметру также производится координация других характеристик УЗИП, а также норм и методов его испытаний.
- **Максимальный импульсный разрядный ток ( $I_{max}$ )**. Это пиковое значение испытательного импульса тока формы 8/20 мкс, который защитное устройство может пропустить один раз и не выйти из строя. Используется для испытания УЗИП класса II.



## Что такое «напряжение»?

### Что такое «напряжение»?

#### Напряжение

На разговорном языке, напряжение – это «желание» электрически заряженных частиц двигаться по проводнику.

**Единица измерения – Вольт (В).**

#### **В электротехнике применяются термины:**

- Рабочее напряжение
- Фазное напряжение
- Линейное напряжение
- Импульсное напряжение

### Что такое «рабочее напряжение»?

#### Рабочее напряжение

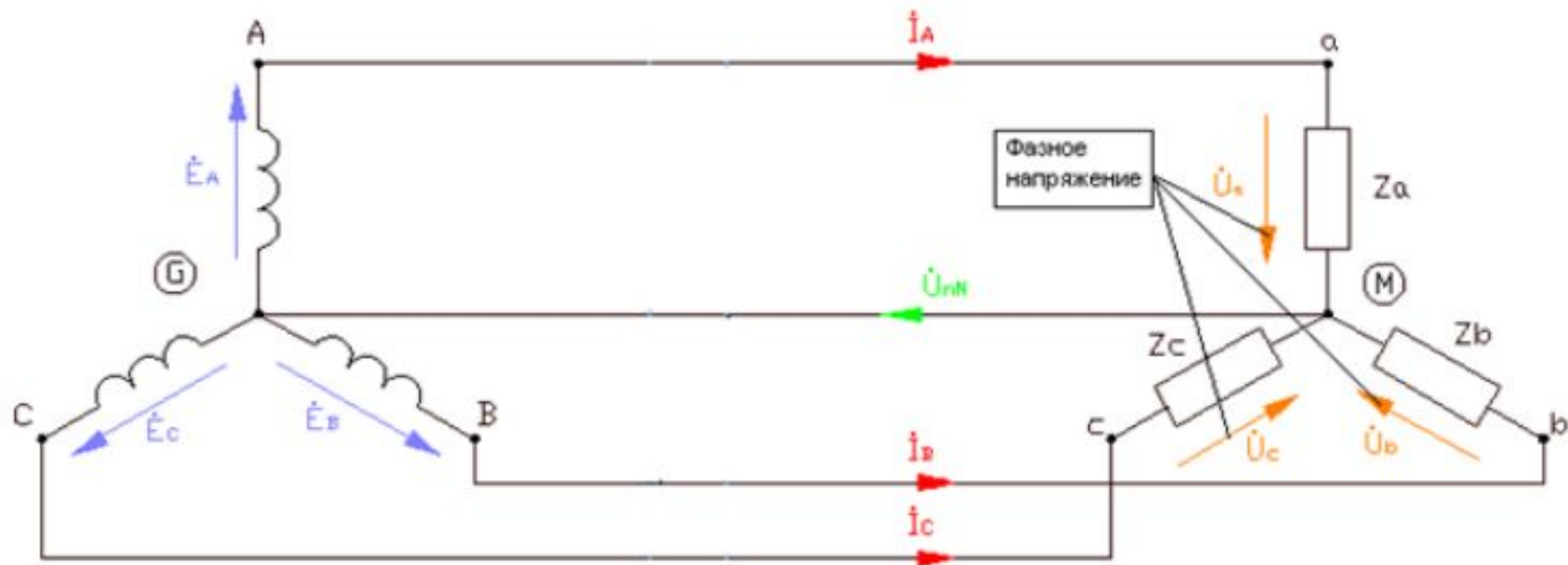
**Рабочее напряжение** - максимальное напряжение, приложенное к рассматриваемой части, когда машина работает при номинальном напряжении в нормальных условиях применения.

*Источник – Российская энциклопедия по охране труда.*

## Что такое «фазное напряжение»?

### Фазное напряжение

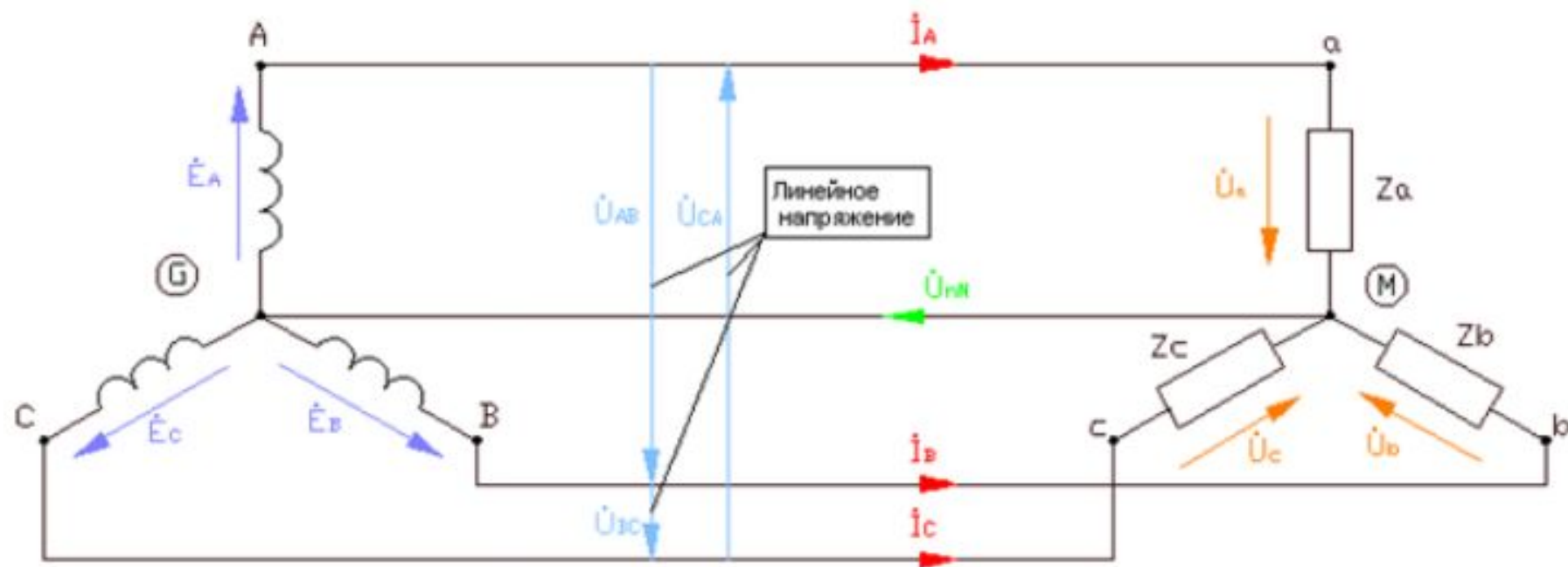
**Фазное напряжение** – термин относится к трехфазной электрической сети и обозначает напряжение между линейным проводом и нейтралью (при соединении «звезда»).



## Что такое «линейное напряжение»?

### Линейное напряжение

**Линейное напряжение** – термин относится к трехфазной сети электроснабжения и обозначает напряжение между двумя линейными проводниками (при соединении «звезда»).





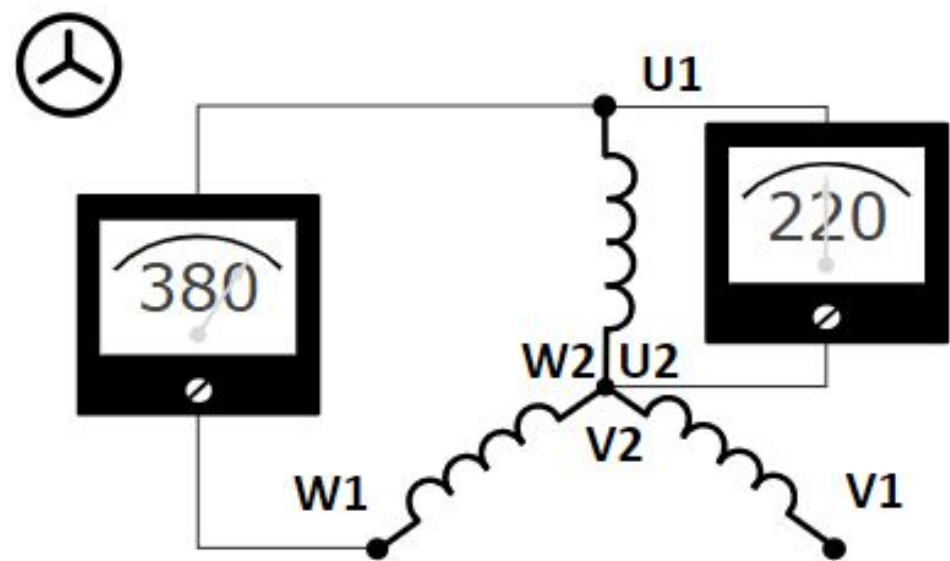
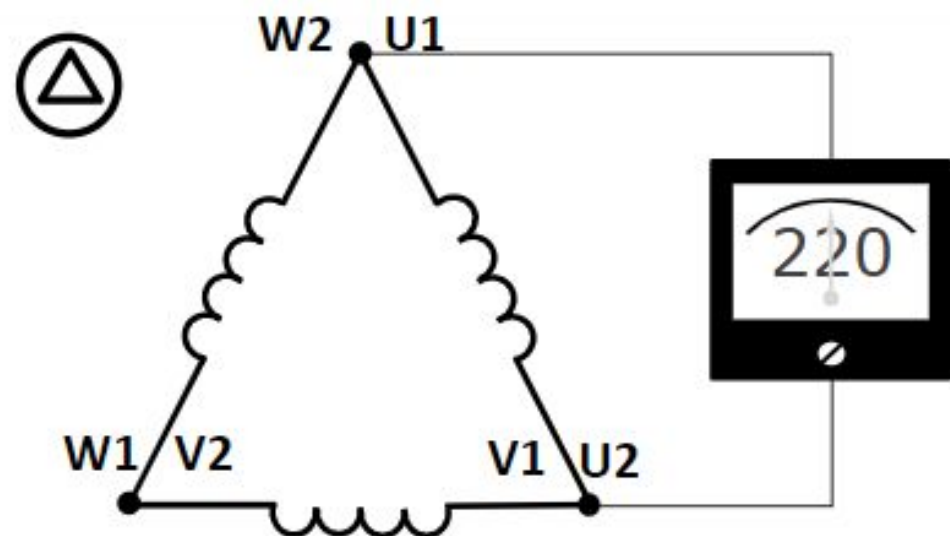
Вне зависимости от способа соединения концов обмоток, потребляемая электродвигателем из сети полная мощность остаётся неизменной:

$$S = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}}$$

При соединении обмоток в треугольник линейные ( $U_{\text{л}}$ ) и фазные ( $U_{\text{ф}}$ ) напряжения равны  $U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}$ , т.к. каждые два линейных провода присоединены к началу и к концу одной из фазных обмоток, а между токами существует соотношение  $I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}$ .

При соединении обмоток в звезду линейные ( $I_{\text{л}}$ ) и фазные ( $I_{\text{ф}}$ ) токи равны  $I_{\text{ф}} = I_{\text{л}}$ , а между фазными и линейными напряжениями существует соотношение  $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$ .

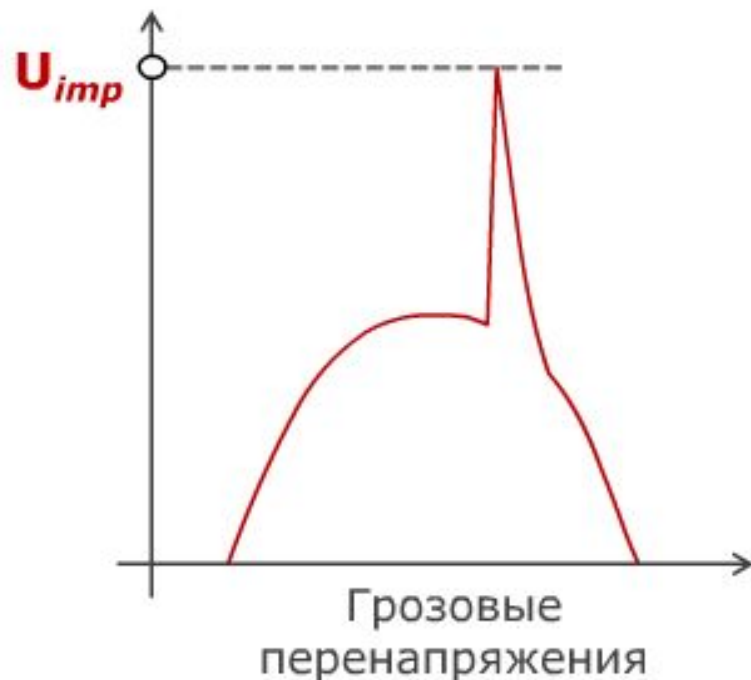
$U1, V1, W1$  — начала обмоток  
 $U2, V2, W2$  — окончания обмоток



## Что такое «импульсное напряжение?»

### Импульсное напряжение

Импульс напряжения – резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня. Величина искажения напряжения при этом характеризуется показателем импульсного напряжения.



## Что такое «сопротивление»?

### Что такое «сопротивление»?

#### Сопротивление

Если объяснять с разговорной точки зрения, сопротивление – это «трение», возникающее при движении электрически заряженной частицы по проводнику.

**Единица измерения – Ом (Ом).**

В цепях переменного тока существуют «**активное**» и «**реактивное**» сопротивление

### Что такое «активное сопротивление»?

- Если говорить научно, то активное сопротивление бывает у проводника, у которого фаза колебаний тока и напряжения совпадает.
- Если определить по - простому – то активное сопротивление преобразует электрическую энергию в какую-нибудь другую. Причем энергия преобразуется безвозвратно.
- Примеры приборов с активным сопротивлением: нагревательные элементы, лампочки накаливания.

### Что такое «реактивное сопротивление»?

- Для начала отметим, что реактивное сопротивление делится на два вида - индуктивное и емкостное. Но, в чистом виде такое деление, практически, не встречается. Чаще всего, реактивное сопротивление бывает смешанным.
- Реактивным сопротивлением обладают, практически все электроприборы, у которых в конструкции есть индуктивность (электромотор) или конденсатор. В таких приборах часть энергии преобразуется тепловую (активная составляющая), а часть - на создание электромагнитных полей.



## Электрическая мощность

С тремя этими параметрами связана очень важная характеристика – **электрическая мощность**.

### Электрическая мощность

Эта физическая величина характеризует скорость преобразования электрической энергии, например, в тепло (у нагревателей) или в звук и изображение (у телевизоров).

Мощность, как и сопротивление, делится на **«активную»** и **«реактивную»**.

## Расчёт мощности

Мощность рассчитывается по формулам:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

где **S** – полная мощность;

Единица измерения – вольтампер (ВА).

**P** – активная мощность. Она выполняет полезную работу – светит, греет, разговаривает.

Упрощенно рассчитывается по формуле:

$$P = U \cdot I.$$

Единица измерения – ватт (Вт).

**Q** – реактивная мощность. Создает электромагнитные поля. Иногда – это полезно, например, в двигателях или трансформаторах. Иногда – вредно, так как происходит нагрев

## Коэффициент мощности

Связь между полной и активной мощностью устанавливается через коэффициент мощности  $\cos \phi$ :

$$S = P / \cos \phi.$$

Обычно, для нетребовательных устройств,  $\cos \phi$  берут равным 0,8.

В некоторых случаях этот коэффициент влияет на работу устройства, тогда он должен быть указан в паспорте на изделие.

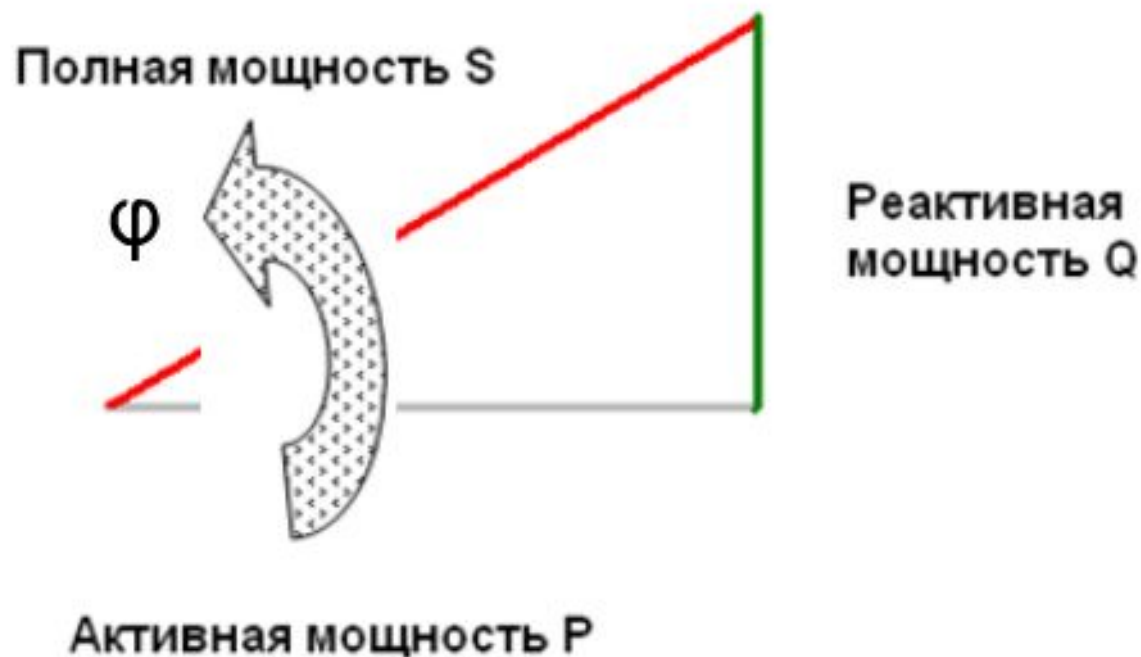
Как и где применять этот коэффициент рассмотрим ниже.

## Что такое $\cos\varphi$ ?

### Что такое $\cos\varphi$ ?

При разработке теории электрических сетей было принято, что соотношение активной, реактивной и полной мощностей подчиняется правилам прямоугольного треугольника.

Угол между активной и полной мощностью обозначен буквой  $\varphi$ . Отсюда и вытекает, приведенная выше формула расчета полной мощности через активную.



### Где применяют $\cos\phi$ ?

Для нетребовательных к электрической энергии однофазных нагрузок значение  $\cos\phi$  принимают равным 0,8.

Если есть такая необходимость (например, для радиопередающих устройств), то значения  $\cos\phi$  должны быть указаны в паспорте или описании устройства.

$\cos\phi$  используется для подсчета полной мощности электрического изделия для подбора, например автономной электростанции или стабилизатора напряжения.

По международным правилам на этих устройствах принято обозначать полную мощность в вольтамперах (ВА).

Стабилизаторы IEK® – не исключение.





## Что такое «частота»?

Переменное напряжение характеризуется еще одним параметром – **частотой**.

### Что такое частота?

#### Частота

Этот параметр показывает насколько быстро меняются показатели напряжение в сети.

**Единица измерения – Гц.**

По стандартам принято, что частота переменного напряжения равна 50 Гц.

**Рассмотрев некоторые из основных величин, перейдем к устройству электросетей.**

Все существующие приборы и устройства можно разделить на две группы: **источники** и **приемники** электрической энергии.

Начнем с источников – это ГЭС, ГРЭС, ТЭЦ, АЭС, автономные электростанции, альтернативные источники (солнечные батареи и ветряки).



**Генератор**

В основе почти всех источников электрической энергии (кроме солнечных батарей) стоит **генератор** – аппарат похожий по устройству на электродвигатель. Но, работает наоборот – его нужно раскрутить и он начнет выдавать электрическую энергию

## Распределение электроэнергии

**Рассмотрим путь электрической энергии от источника к приемникам:**

На источнике вырабатывают высокое напряжение (до 110 кВ). По линиям электропередач (ЛЭП) энергия передается к приемникам, проходя через каскады понижающих трансформаторов. И приходит к приемникам в виде трехфазного электрического напряжения 400 В, 50 Гц. Далее, из трехфазного напряжения получается однофазное 230 В, 50 Гц.

В таком виде его и используют большинство приемников.





## Переменный или постоянный ток?

Уже давно решен спор о том, какую электроэнергию лучше передавать и использовать – постоянную или переменную. Выбор сделан в пользу последней.

Конечно, и сегодня существуют автономные источники постоянного напряжения – ветряки или солнечные батареи.

Но, в промышленных масштабах производится и передается переменная электрическая энергия.

Наиболее экономичная, **трехфазная система переменного тока**, была разработана русским инженером Михаилом Осиповичем Доливо–Добровольским.

На сегодняшний день – это самая распространенная система передачи электрической энергии на большие расстояния.



## Что такое «трехфазная электрическая сеть»?

Трехфазная электрическая сеть – это частный случай многофазной системы. Отбор количества фаз произошел на заре появления электричества.

Трехфазная система обладает массой преимуществ, по сравнению, с другими сетями:

- Очень просто построить генератор (источник);
- Легко проводить расчеты и др.

Преимущества трехфазной сети для энергетиков настолько велики, что даже в обозримом будущем специалисты не видят ей альтернативы.

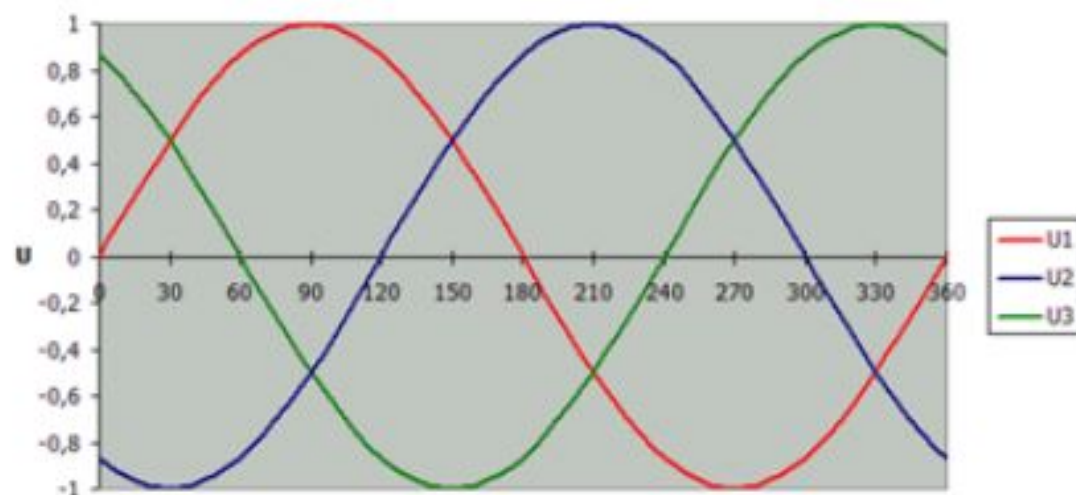
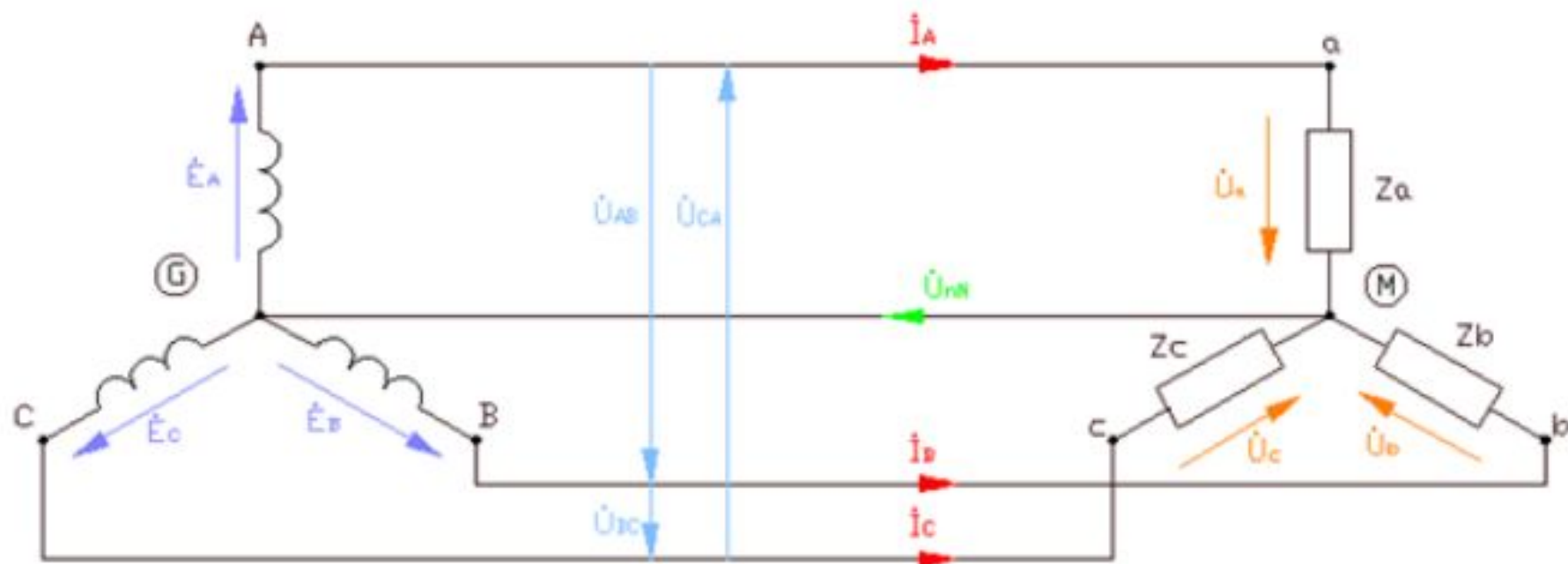


График «идеальной»  
трехфазной сети.

## Схема «Звезда»

Существует две схемы получения, передачи и потребления трехфазной электроэнергии:

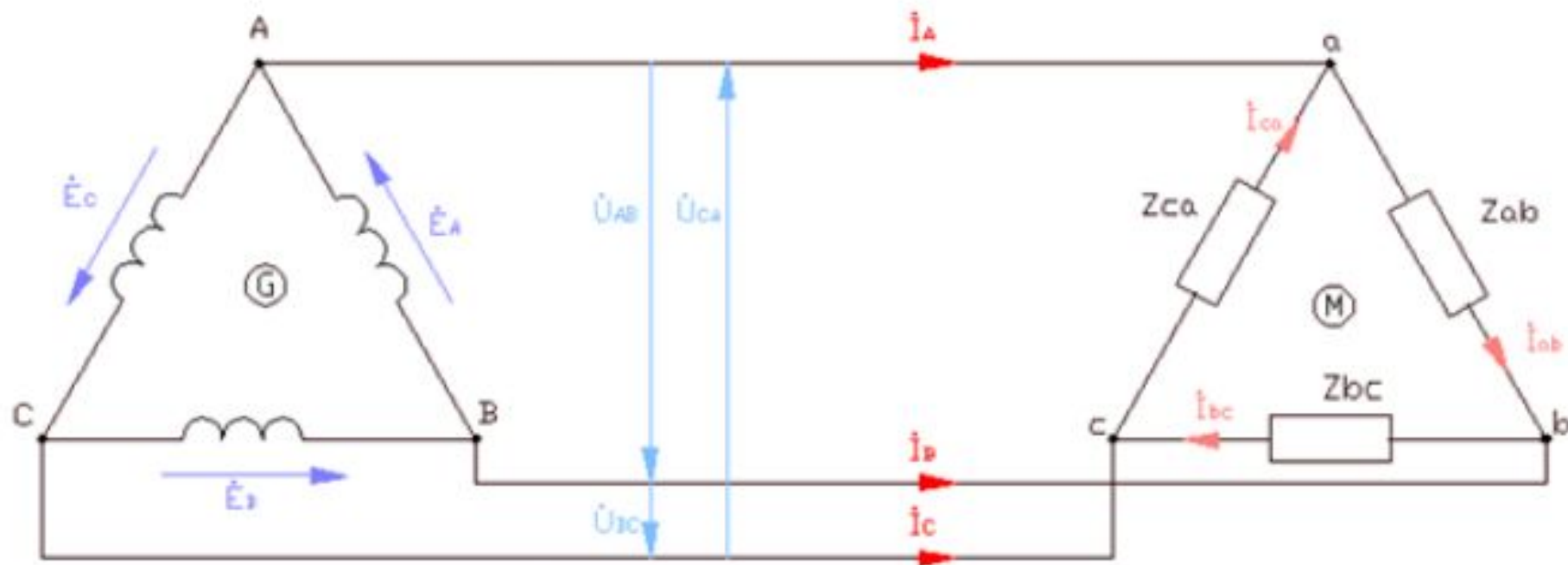
Самая распространенная называется «звезда», когда концы обмоток генератора соединены в общую точку. Передача энергии ведется по 4 проводам – по одному на каждую фазу и один – общий или «0».



## Схема «Треугольник»

Существует две схемы получения, передачи и потребления трехфазной электроэнергии:

Вторая схема называется «треугольник». В ней концы обмоток соединены с началом других. Крайне редко, но, бывают источники и приемники, выполненные по такой схеме.



Но, у трехфазных сетей есть два существенных недостатка:

1. Обрыв «0» (нулевого провода). Результат можно увидеть на рисунке

Левая часть рисунка – нормальная работа. А на правой оборван 0 провод.

2. Так называемый «перекос фаз», когда одна или две фазы нагружены сильнее, чем остальные.

Соответственно, падение напряжения в них будет больше, что может привести, в конечном итоге, к выходу из строя источника напряжения.

