Фальков Андрей Игоревич

Учебный центр АРМО

Общая электротехника

для менеджеров по продаже электротехнического оборудования

Книга 1. Постоянный ток

Общая и специальная электротехника

Введение

#### Цели и задачи курса

- Дать понятие о явлении электрического тока
- На основании сопротивления проводников объяснить правила выбора проводов и автоматов защиты
- Объяснить построение сетей переменного тока
- На основании трехфазных сетей объяснить типовую схему энергоснабжения объекта
- Рассказать о силовом оборудовании

учебный центр 🛆 армо-

#### Преподаватель

- Негосударственное частное образовательное учреждение Дополнительного профессионального образования «Учебный центр АРМО»
- Фальков Андрей Игоревич, к.п.н



 Учебный центр APMO – центр образовательной поддержки в области систем безопасности и автоматики

#### Построение курса

- Понятие электрического тока
- Сопротивление проводников
- Тепловое действие электрического тока
- Переменный ток
- Трехфазный ток
- Типовая схема электроснабжения
- Силовое и высоковольтное оборудование
- Зачет

учебный центр 🛆 армо—

#### Построение курса

- Изложение теории преподавателем
- Практические задания на расчет электрических цепей
- Практические задания на проектирование электрических схем
- Зачет: подготовка доклада на заданную тему
- Зачет: расчет системы энергоснабжения

#### Общая и специальная электротехника

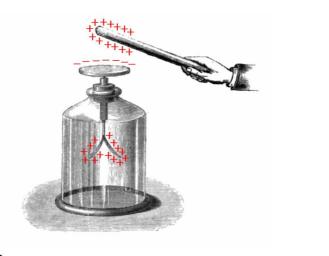
Заряд и понятие электрического тока

#### Понятие электрического заряда

- Ещё в глубокой древности было известно, что янтарь (др.-греч. ἤλεκτρον электрон), потёртый о шерсть, притягивает лёгкие предметы. А уже в конце XVI века английский врач Уильям Гильберт назвал тела, способные после натирания притягивать лёгкие предметы, наэлектризованными.
- В 1729 году Шарль Дюфе установил, что существует два рода зарядов. Один образуется при трении стекла о шёлк, а другой — смолы о шерсть. Поэтому Дюфе назвал заряды «стеклянным» и «смоляным». Понятие о положительном и отрицательном заряде ввёл Бенджамин Франклин.
- В начале XX века американский физик Роберт Милликен опытным путём показал, что электрический заряд дискретен, то есть заряд любого тела составляет целое кратное от элементарного электрического заряда
- См. ролик

#### Понятие электрического заряда

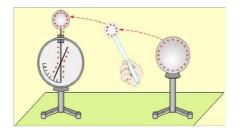
 На поверхности диэлектрика образуется скопление зарядов



учебный центр 🛆 армо-

#### Электрический заряд может перемещаться

 Перемещение заряда в вакууме и воздухе



 Перенос заряда с заряженного тела на электрометр при помощи меховой кисточки

#### Электрический заряд может перемещаться

- Перемещение электрического заряда носит название ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК
- Электрический ток направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц.
- Такими частицами могут являться: в металлах электроны, в электролитах ионы (катионы и анионы), в газах ионы и электроны, в вакууме при определенных условиях электроны, в полупроводниках электроны и дырки (электроннодырочная проводимость).

учебный центр 🛆 армо-

#### Электрический заряд может перемещаться

- Величина электрического заряда измеряется в Кулонах
- Заряд можно измерить количеством электронов.
- Заряд 6,24151·10<sup>18</sup> электронов равен −1 Кл
- Перемещение единицы заряда за единицу времени – сила тока
- Ампер = Кулон \* Секунда
- **1 ампер** = 6,24151·10<sup>18</sup> электронов в секунду

#### Ампер

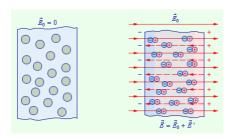
- Единица измерения, принятая на 1-м Международном конгрессе электриков[4] (1881 г., Париж), названа в честь французского физика Андре Ампера.
- Андре-Мари Ампер (1775—1836) знаменитый французский физик, математик и естествоиспытатель, член Парижской Академии наук (1814). Член многих академий наук, в частности иностранный почётный член Петербургской Академии наук (1830). Он создал первую теорию, которая выражала связь электрических и магнитных явлений. Амперу принадлежит гипотеза о природе магнетизма, он ввел в физику понятие «электрический ток». Джеймс Максвелл назвал Ампера «Ньютоном электричества».



учебный центр 🛆 армо-

#### Заряды в диэлектрике

 Диэлектрик не поводит электрический ток, так как в нем заряды не могут перемещаться

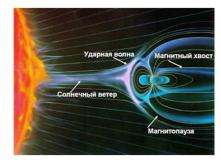


#### Заряды в вакууме

 Электрический ток в вакууме может течь, если внести заряженные частицы



• Перенос заряда кисточкой

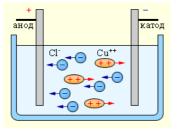


 Солнечный ветер как пример электрического тока в вакууме

учебный центр 🛆 армо-

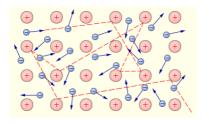
#### Заряды в жидкостях

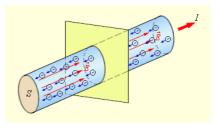
 Электрический ток может протекать в жидкостях, если есть заряженные частицы



• Электрический ток течет в электролите

#### Заряды в металлах





■ Если через сечение «пробегает» 6,24151·10<sup>18</sup> электронов в секунду (1 Кл), то чему равна сила тока?

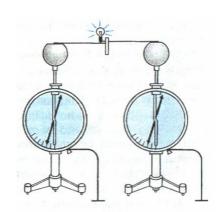
учебный центр 🛆 армо-

#### Заряды в металлах

Металлы проводят электрический ток

Если зарядить электрометр, а затем замкнуть его через металл с другим электрометром, то:

- В металлическом проводнике будет кратковременно течь ток
- Заряды перераспределятся
- Контрольная лампочка вспыхнет и погаснет



См. ролик 02

#### Вопросы



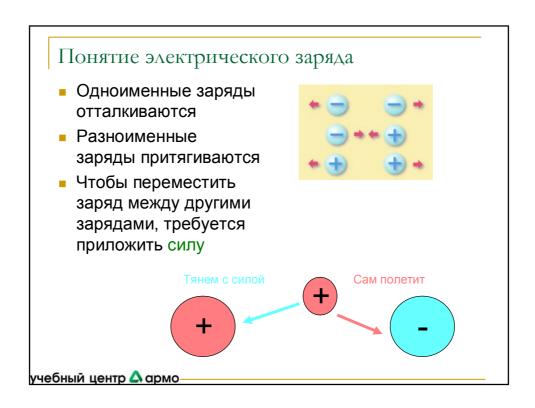
учебный центр 🛆 армо

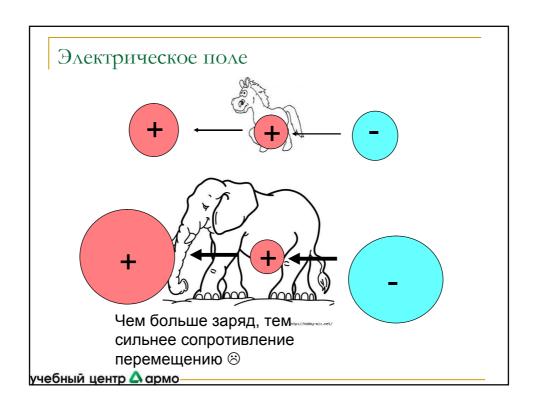
#### Вопросы

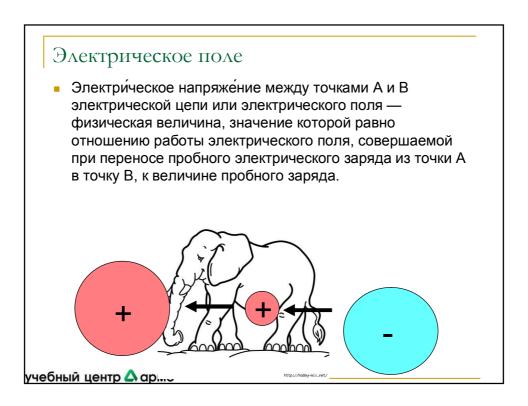
- Что такое электрический заряд?
- Как получить электрический заряд?
- В каких единицах измеряют заряд?
- Что такое электрический ток?
- Как протекает ток в вакууме?
- Как протекает ток в металлах?
- В каких единицах измеряют электрический ток?
- Кто такой Ампер?

## Общая и специальная электротехника

Электрическое поле и напряжение







# Единица напряжения — Вольт Разность потенциалов между двумя точками равна 1 вольту, если для перемещения заряда величиной 1 кулон из одной точки в другую над ним надо совершить работу величиной 1 джоуль. Вольт также равен электрическому напряжению, вызывающему в электрической цепи постоянный ток силой 1 ампер при мощности 1 ватт 220 вольт



#### Напряжение

 Алесса́ндро Джузеппе Анто́нио Анаста́сио Джерола́мо Умберто Во́льта (1745 —1827) — итальянский физик, химик и физиолог, один из основоположников учения об электричестве; граф (1801).



учебный центр 🛆 армо-

#### Мощность электрического тока

1 Ватт = 1 Вольт \* 1 Ампер





- Для того, чтобы совершить работу, надо переместить тело из одной точки в другую
- Напряжение это РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ между двумя точками
- Нет двух точек нет и разности потенциалов. В одной точке напряжения нет

5 В 15 В 10 В 3емля (нуль)

#### Ток и напряжение

- Ток *I* , [Ампер, A]
- Напряжение  $\it U$ , [Вольт, В, V]
- lacktriangle Мощность P [Ватт, Вт, кВт, W]
- Работа A [Джоуль, Дж]
- P=U\*I
  По определению

  U=P/I

учебный центр 🛆 армо-

#### Резюме

 При электризации тел образуется
 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД, измеряемый в Кулонах [Кл]

Ролик 04

- При перемещении заряда возникает ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК
- СИЛА ТОКА измеряется в Амперах [А]
- Ампер = Кулон / секунда
- Мощность электрического тока зависит от НАПРЯЖЕНИЯ (разности потенциалов между двумя точками), измеряемой в Вольтах [В, V]

## Вопросы

учебный центр 🛆 армо-

#### Практическое задание

- Напряжение на лампочке U=220B
- Ток через лампу I=0,25A
- Чему равна мощность лампы?

#### Практическое задание

- Дачным домикам садоводческого товарищества по условиям присоединения выделена мощность 3 кВт (стандарт для квартир и домков Подмосковья)
- Напряжение в сети 220В
- На складе товарищества имеются автоматы номиналом 6A, 10A, 16A, 25A. Какие из этих автоматов следует ставить на вводы в домики?

учебный центр 🛆 армо-

#### Практическое задание

- Напряжение на стартере автомобиля 12В
- Мощность стартера 600 Вт
- Какой ток протекает через стартер?

#### Вопросы

- В каких единицах измеряют силу тока?
- В каких единицах измеряют напряжение?
- От чего зависит мощность электрического тока?
- Как соотносятся вес предмета и скорость с током и напряжением?

учебный центр 🛆 армо-

#### Общая и специальная электротехника

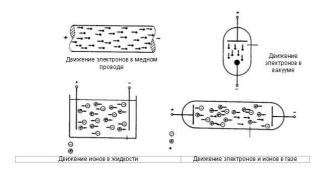
Конец части 1 Благодарю за внимание

#### Общая и специальная электротехника

Часть 2 Сопротивление проводников

#### Электрический ток в различных проводниках

• Ток в металлах. Упорядоченное движение создает меньше заторов и сопротивлений



Ток в электролитах. Частицы сталкиваются и создается сопротивление

#### Удельное сопротивление и проводимость

- Степень «торможение» тока в проводнике называется «электрическим сопротивлением»
- Обратная величина «электрическая проводимость»

Электрическая проводимость (электропроводность, проводимость) — способность тела проводить электрический ток, а также физическая величина, характеризующая эту способность и обратная электрическому сопротивлению. В Международной системе единиц (СИ) единицей измерения электрической проводимости является СИМЕНС [См]

Обозначение буквой

«сигма» **О** 

учебный центр 🛆 армо-

#### Проводимость

- Проводимость –
  фундаментальное
  физическое свойство
  материала,
  зависящее
  исключительно от
  внутренних факторов
  и не зависящее от
  тока и напряжения.
- Удельная проводимость приведена при температуре +20 °C

Вещество	Проводимость, См/м
серебро	62 500 000
медь электротех	58 100 000
алюминий	37 000 000
железо чистое	10 000 000
платина	9 350 000
нейзильбер	3 030 000
константан	2 000 000
манганин	2 330 000
ртуть	1 040 000
нихром	893 000
графит	125 000
вода морская	3
земля влажная	10-2
вода дистилл.	10-4
стекло	10-11
фарфор	10-14
янтарь	10-18

#### Проводимость и сопротивление

- Сопротивление величина, обратная проводимости
- Самое низкое удельное сопротивление – у серебра
- Самое высокое удельное сопротивление – у янтаря
- Чем длиннее проводник, тем выше его сопротивление

	C		^	
VUE	CHLIV	пент	ro 🔼	армо

Вещество	Проводимость, См/м
серебро	62 500 000
медь электротех	58 100 000
алюминий	37 000 000
железо чистое	10 000 000
платина	9 350 000
нейзильбер	3 030 000
константан	2 000 000
манганин	2 330 000
ртуть	1 040 000
нихром	893 000
графит	125 000
вода морская	3
земля влажная	10-2
вода дистилл.	10-4
стекло	10-11
фарфор	10-14
янтарь	10-18

#### Законы сопротивления ■ Чем длиннее проводник, тем выше его сопротивление и он хуже проводит ток Чем толще проводник, тем ниже его сопротивление, и он лучше проводит ток Длина компенсируется толщиной Длина компенсируется качеством материала учебный центр 🛆 армо—

#### Сопротивление проводника

- Чаще всего в электротехнике используется величина, обратная проводимости – СОПРОТИВЛЕНИЕ
- Сопротивление R,
   измеряется в Омах [Ом] [Оhm]
- Сопротивление проводника

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$
,

ρ — удельное сопротивление вещества проводника, Ом·м,

*I* — длина проводника, м,

S — площадь сечения, м<sup>2</sup>.

Сопротивление однородного проводника также зависит от

температуры. учебный центр 🛆 армо

#### Сопротивление проводника

• Сопротивление проводника

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S},$$

ρ — удельное сопротивление вещества проводника, Ом·м,

*I* — длина проводника, м,

S — площадь сечения, м<sup>2</sup>

- Чем выше удельное сопротивление (ниже проводимость), тем сопротивление выше
- Чем длиннее провод, тем сопротивление выше
- Чем толще проводник, (больше сечение провода), тем сопротивление ниже

#### Закон Ома

 Фундаментальным явлением с точки физики является удельное сопротивление проводника, а определение сопротивления выражается

формулой 
$$R = \frac{\rho \cdot l}{S},$$

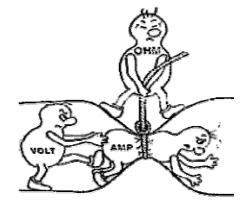
 Георг Ом открыл закон, выражающий связи между током, напряжением и сопротивлением

Закон Ома выражается формулой 
$$I=rac{U}{R}$$

учебный центр 🛆 армо-

#### Закон Ома

- Меньше сопротивление – больше ток
- Больше напряжение – больше ток



Ролик 05

#### Закон Ома

Закон Ома (в чистом виде)

$$I = \frac{U}{R}$$

Треугольник Ома – взаимосвязь напряжения, тока и сопротивления



Формула для расчета сопротивления, применяемая при проведении измерений (омметром, тестером)

$$R = \frac{U}{I}$$

Удельное сопротивление металлог	Улельное	сопротивление	металлов
---------------------------------	----------	---------------	----------

Металл	ρ, Ом·мм²/м
Серебро	0,015
Медь (электротехнич.)	0,017
Алюминий	0,027
Железо	0,098
Олово (припой)	0,12
Сталь	0,12
Константан	0,5
Нихром <del>Бный центр А армо</del>	1,2

#### Расчет сопротивления медного провода

 Рассчитаем сопротивление жилы кабеля ПВС 3x2,5 длиной 1000 метров

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

р — удельное сопротивление вещества проводника

Медь (электротехнич.)  $\rho$  = 0,017 Ом⋅мм²/м

I — длина проводника, I = 1000 м, S — площадь сечения, S = 2,5  $\mathrm{mm}^2$ 

$$R = 0.017 * 1000 / 2.5$$

$$R = 6.8 \text{ Om}$$

учебный центр 🛆 армо-

#### Расчет тока в проводнике

 Какой ток потечет через медный провод ПВС 3х2,5 длиной 1000 метров, если к нему присоединить батарейку 1,5 Вольта?





$$I = \frac{U}{R}$$

R = 6.8 Om

U = 1.5 B

I = U/R = 1.5 B / 6.8 Om = 0.22 A

Ток I = 0,22A учебный центр Сармо

#### Вопросы



учебный центр 🛆 армо-

#### Вопросы

- Что такое удельное сопротивление?
- У каких веществ самое низкое удельное сопротивление?
- Как рассчитать сопротивление проводника, исходя из его длины, сечения и типа материала?
- Как рассчитать ток через проводник, если известны напряжение и сопротивление?

#### Общая и специальная электротехника

Мощность, рассеиваемая на проводнике

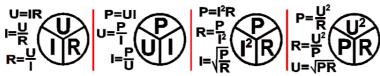
#### Мощность электрического тока

■ P=U\*I

(по определению напряжения)

Через медный провод ПВС 3x2,5 длиной 1000 метров, если к нему присоединить батарейку 1,5 Вольта, течет ток 0,22 A

#### Закон Ома и мощность



Вся мощность расходуется на нагрев проводника 🕾

## Общая и специальная электротехника

Тепловые явления в проводнике

#### Тепловой действие электрического тока

- При прохождении электрического тока через проводник, обладающий сопротивлением, происходит выделение тепла
- Ролик 07

#### Нагревание материалов

- Массовая теплоёмкость (С), также называемая просто удельной теплоёмкостью — это количество теплоты, которое необходимо подвести к единице массы вещества, чтобы нагреть его на единицу температуры. В СИ измеряется в джоулях на килограмм на кельвин (Дж·кг–1·К–1).
- C = A / (m \* t) где A – работа, Дж m – масса вещества t – повышение температуры
- ∆t = A / (m \* C)
   Температура тем выше, чем больше работа, меньше масса и выше теплоемкость

учебный центр 🛆 армо-

#### Теплоемкость металлов

Металл	Теплоемкость	Плотность
Медь	400 Дж/ (кг * К)	8,92 г/см <sup>3</sup>
Алюминий	920 Дж/ (кг * К)	2,6989 г/см <sup>3</sup>
Железо	460 Дж/ (кг * К)	7,874 г/см <sup>3</sup>
ный центр <b>Д</b> армо		

#### Нагрев металлов в изоляции

$$\Delta T = \frac{P [B\tau] * t [ceκ]}{m [κΓ] * C [Дж/(κΓ*Κ)]}$$

Повышение температуры прямо пропорционально:

Р – подводимая мощность

t – время нагрева

Обратно пропорционально

т - масса

С - теплоемкость

В свою очередь:

Масса m = V (объем) \*  $\rho$ (плотность) = S (сечение) \* L (длина) \*  $\rho$ (плотность) Мощность P = U (напряжение) \* I (сила тока) =  $I^2 * R$ 

учебный центр 🛆 армо-

#### Нагрев проводника электрическим током

$$\Delta T (t) = \frac{I^{2} [A] * R [OM]}{S [MM^{2}] * L [M] * 0,001 p [\Gamma/CM^{3}] * C [Дж/(K\Gamma^{*}K)]} * t [CeK]$$

#### Нагрев проводника электрическим током

Модель разогрева медного проводника при условии отсутствия тепловых потерь (идеальная теплоизоляция).

Показана зависимость температуры от тока через 60 секунд

Для ПВХ – изоляции следующие параметры являются критичными (выделено цветом):

От 0°С до 85°С – нормальная работа

85°C – температура стеклования

175°C – температура плавление и начала выделения дыма

1	_	t cek	Температ ура
2			
3	0	60	20,00
4	5	60	21,14
5	10	60	24,57 30,29
6	10 15 20 25 30	60	30,29
7	20	60	38,30
8	25	60	48,59 61,17
9	30	60	61,17
10	35	60	76.03
11	40	60	93 181
12	45	60	112,62
13	50	60	134,35
14	55	60	158,36
15	40 45 50 55 60	60	184,66
16	65 70 75	60	213,25
17	70	60	244,13
18	75	60	277,29
19	80	60	312,74
20	85	60	350,47
21	90	60	390,49
22 23	ПВХ Норм	a	
23	ПВХ стек	тован	ие
24	ПВХ Плав	лени	е

Суч	ето	м потер	ЭЬ					
		-	L					
20 ам 2,5 кв		ура	40 амп 2,5 кв.		ура	50 ам 2,5 кг		тура
_	_	Температура		t	Температура	_		Температура
						50		20.00
20	0	20,00	40	0	20,00	50		20,00
20	30	20,00	40	30	29,33	50 50	30	38,28
20	60	20,00	40	60	38,66	50	60 90	56,56
20	90	20,00	40	90	47,99	50	120	74,84 93.11
20	120	20,00	40	120	57,32	50	150	111,39
20 20	150	20,00	<u>40</u> 40	150 180	66,65 75,98	50	180	129,67
20	180 210	20,00 20,00	40	210	85,31	50	210	147,95
20	240	20,00	40	240	94,63	50	240	166,23
20	270	20,00	40	270	103,96	50	270	184,51
20	300	20,00	40	300	113,29	50	300	202,78
20	330	20,00	40	330	122,62	50	330	221,06
20	360	20,00	40	360	131,95	50	360	239,34
20	390	20,00	40	390	141,28	50	390	257,62
20	420	20,00	40	420	150,61	50	420	275,90
20	450	20,00	40	450	159,94	50	450	294,18
20	480	20,00	40	480	169,27	50	480	312,45

CP	арн	CHIIC MC	едного и алн	ЭМИНИ	CBC	10
	200					
про	OBO,	<b>La</b>				
ипп.			40 ампер	АЛЮМ	1	
ИЕДЬ -		æ	ro amirop			æ
2,5 кв	.MM	Температура		2,5 кв.	IVIIVI	Температура
		Te.				Te l
		<del>a</del>				<del>a</del>
		5				5
_		<u> </u>		_		<u> </u>
		•				•
40	0	20,00		40	0	20.00
40	30	29,33		40	30	162,00
40	60	38,66		40	60	304,00
40	90	47,99		40	90	446,00
40	120	57,32		40	120	588,00
40	150	66,65		40	150	730,00
40	180	75,98		40	180	872,00
40 40	210 240	85,31 94,63		40 40	210 240	1014,00 1156.00
40	270	103,96		40	270	1298,00
40	300	113,29		40	300	1440,00
40	330	122,62		40	330	1582,00
40	360	131,95		40	360	1724,00
40	390	141,28		40	390	1866,00
40	420	150,61		40	420	2008,00
40	450	159,94		40	450	2150.00



#### Практическое упражнение

До какой температуры разогреется проводник из меди *сечением S [кв.мм]* 

- C= 400 Дж/ (кг \* K)
- р(плотность)= 8,92 г/см³
- р(уд. сопр.)= 0,017 Ом⋅мм²/м
- Через время t = 100 сек.

Если через него пропускать *ток I [A]*?

Считать, что тепловые потери отсутствуют

учебный центр 🛆 армо-

#### Практическое упражнение

- Вариант 1: S=5 кв.мм, I=25A
- Вариант 2: S=1,5 кв.мм, I=35A
- 1. Рассчитать сопротивление R проводника исходя из сечения, длины и удельного сопротивления
- Рассчитать массу проводника исходя из сечения, длины и плотности металла
- 3. Рассчитать мощность на проводнике
- Рассчитать температуру исходя из мощности, массы, теплоемкости и времени.

## Общая и специальная электротехника

Конец части 2 Благодарю за внимание и хорошие ответы!

#### Общая и специальная электротехника

Часть 3 Выбор кабельной продукции Сечение кабеля

### Правила Устройства Электрических сетей (ПУЭ)

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) — документ, описывающий устройство, принцип построения, особые требования к отдельным системам, их элементам, узлам и коммуникациям электроустановок в СССР.

ПУЭ не является документом в области стандартизации.

В данный момент различные редакции действуют на территории России (6 и 7-е (переизданные главы) издание), на Украине (6-е издание), в Белоруссии (6-е издание) и так далее.



учебный центр 🛆 армо

#### ПУЭ

- ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок
- Раздел 1. Общие правила
- Глава 1.3. Выбор проводников по нагреву, экономической плотности тока и по условиям короны
- Выбор сечения проводников по экономической плотности тока
- 1.3.25. Сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение *S*, мм2, определяется из соотношения

$$S = \frac{I}{J_w}$$

где *I* — расчетный ток в час максимума энергосистемы, А; *J*эк — нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36.

Сечение, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т. е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается.

#### ПУЭ 1.3.10

Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами

	Ток, А, для проводов, проложенных							
Сечение		в одной трубе						
токопроводящей жилы, мм²	открыто	двух одно- жильных	трех одно- жильных	четырех одно- жильных	одного двух- жильного	одного трех- жильного		
0,5	11	-	-	-	-	-		
0,75	15	-	-	-	-	-		
1	17	16	15	14	15	14		
1,2	20	18	16	15	16	14,5		
1,5	23	19	17	16	18	15		
2	26	24	22	20	23	19		
2,5	30	27	25	25	25	21		
3	34	32	28	26	28	24		
4	41	38	35	30	32	27		
5	46	42	39	34	37	31		
6	50	46	42	40	40	34		
8	62	54	51	46	48	43		
10	80	70	60	50	55	50		
16	100	85	80	75	80	70		
25	140	115	100	90	100	85		
35	170	135	125	115	125	100		
50	215	185	170	150	160	135		
70	270	225	210	185	195	175		
95	330	275	255	225	245	215		

учебный центр 🛆 армо-

#### ПУЭ 1.3.10

Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами

	Ток, А, для проводов, проложенных							
Сечение		в одной трубе						
токопроводящей жилы, мм²	открыто	одно-	трех одно- жильных	четырех одно- жильных	одногодвух- жильного	одного трех- жильного		
2	21	19	18	15	17	14		
2,5	24	20	19	19	19	16		
3	27	24	22	21	22	18		
4	32	28	28	23	25	21		
5	36	32	30	27	28	24		
6	39	36	32	30	31	26		
8	46	43	40	37	38	32		
10	60	50	47	39	42	38		
16	75	60	60	55	60	55		
25	105	85	80	70	75	65		
35	130	100	95	85	95	75		
50	165	140	130	120	125	105		
70	210	175	165	140	150	135		
95	255	215	200	175	190	165		

## Общепринятые расчетные нормы

- Для неизолированного повода ВЛЭП
   J = 12 A/мм²
- Для медного провода и кабеля в ПВХ изоляции сечением до 10 мм²
   J = 10 A/мм²
- Для алюминиевого провода и кабеля в ПВХ изоляции сечением до 10 мм²
   J = 7 А/мм²
- Для медного провода и кабеля в ПВХ изоляции сечением более 10 мм²
   J = 5 А/мм²

учебный центр 🛆 армо-

## Общепринятые расчетные нормы

**■** Ролик 06

Часть 3 Выбор кабельной продукции Изоляция кабеля

## Удельное сопротивление металлов

Металл	ρ, Ом·мм²/м
Серебро	0,015
Медь (электротехнич.)	0,017
Алюминий	0,027
Железо	0,098
Поливинилхлорид (ПВХ)	1012
Эбонит	1012
бинй центр 🛆 армо	

38

#### Электрическая прочность изоляции

- Электрическая прочность изоляции. Если постепенно повышать приложенное к диэлектрику напряжение, то при некоторой его величине проходящий через диэлектрик ток начинает резко возрастать. Это означает, что диэлектрик потерял свои изоляционные свойства и легко пропускает электрический ток; произошел пробой диэлектрика. Напряжение, при котором диэлектрик теряет свои изоляционные свойства, называется пробивным напряжением.
- Величина напряженности поля, при которой происходит пробой диэлектрика, называется пробивной напряженностью ЕПр при электрической прочностью диэлектрика. В равномерном электрическом поле
- EπP = Uπp/h,
- где Unp пробивное напряжение; h толщина диэлектрика.
- Чем толще слой диэлектрика, тем выше напряжение пробоя.

учебный центр 🛆 армо-

#### Тепловые потери проводника

- Воздушная линия без изоляции (самонесущий неизолированный провод)
- Одиночный кабель в изоляции
- Жгут кабелей в коробе



## Вопросы



учебный центр 🛆 армо

### Вопросы

- Почему сечение провода должно соответствовать току?
- Что произойдет с проводом при превышении рекомендуемой плотности тока?
- Какими критериями следует руководствоваться при выборе кабельной продукции?

Конец части 3 Благодарю за внимание и хорошие ответы!

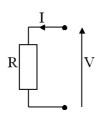
## Общая и специальная электротехника

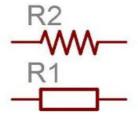
Часть 4

Соединение проводников

## Обозначение проводника с сопротивлением

Электрическое сопротивление — физическая величина, характеризующая свойства проводника препятствовать прохождению электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока





учебный центр 🛆 армо-

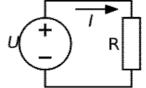
### Закон Ома



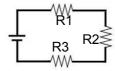
$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = IR$$

$$R = \frac{U}{I}$$
,



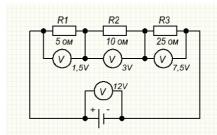
### Последовательное соединение проводников



#### Второе правило Кирхгофа

(правило напряжений Кирхгофа) гласит, что:

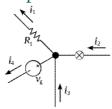
Алгебраическая сумма падений напряжений на всех ветвях, принадлежащих любому замкнутому контуру цепи, равна алгебраической сумме ЭДС ветвей этого контура.



$$R_{ex} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

учебный центр 🛆 армо-

### Параллельное соединение проводников



#### Первое правило Кирхгофа гласит,

что алгебраическая сумма токов в каждом узле любой цепи равна нулю. При этом втекающий в узел ток принято считать

положительным, а вытекающий — отрицательным: Сумма втекающих токов равна сумме вытекающих.



Параллельное соединение резисторов

1/R = 1/R1 + 1/R2

$$R_{ex} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

#### Практическое задание

 Последовательно включены 2 сопротивления R1=10 Ом и R2=20 Ом. Чему равно суммарное сопротивление цепи Rвх?

Формула:

Результат:

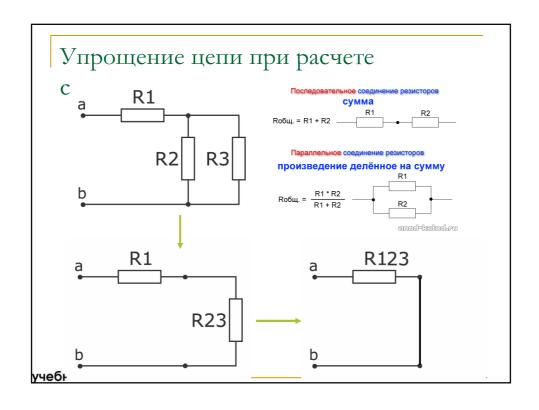
учебный центр 🛆 армо-

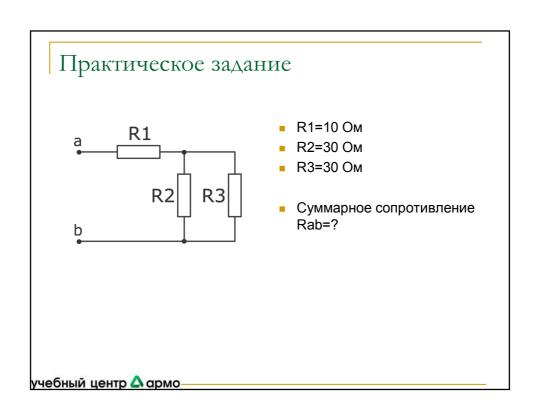
#### Практическое задание

 Параллельно включены 2 сопротивления R1=10 Ом и R2=20 Ом. Чему равно суммарное сопротивление цепи Rвх?

Формула:

Результат:





#### Вопросы



учебный центр 🛆 армо

#### Вопросы

- Как изменяется суммарное сопротивление при последовательном включении проводников?
- Что произойдет с суммарным сопротивлением цепи питания, если вдвое увеличить длину кабеля?
- Как изменяется суммарное сопротивление при параллельном включении проводников?
- Что произойдет с суммарным сопротивлением цепи питания, если вдвое увеличить количество жил кабеля?

Конец части 4 Благодарю за внимание и решение задач!

## Общая и специальная электротехника

Часть 5 Нагрузочная способность проводников

#### Эквивалентное сопротивление

Любая электрическая нагрузка:

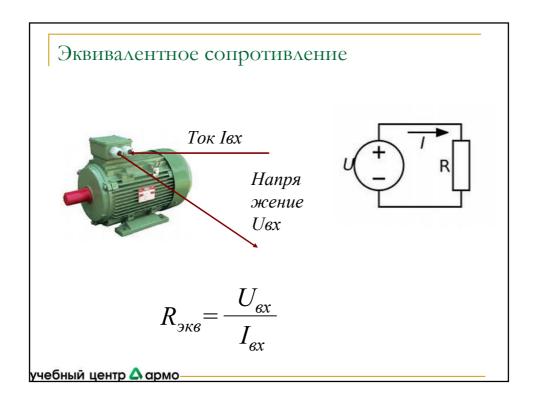
- Электронагреватель
- Электродвигатель
- Осветительный прибор
- Силовой трансформатор с нагрузкой

Характеризуются:

- Током (протекающим в данный момент через устройство)
- Напряжением (на устройстве)

Следовательно, им можно сопоставить:

- Эквивалентное сопротивление
- Эквивалентную мощность учебный центр армо





Важно!

В данном случае

- энергию от источника потребляет Rвх,
- полезную работу производит только R3,
- R1 и R2 производят паразитный нагрев

учебный центр 🛆 армо-



Задавайте вопросы!

Далее следуют расчетные задания



 Электродвигатель номинальной мощностью 1 кВт и напряжением 220В подключили к электрическому щитку проводом ПВС 3x1,5 длиной 200 метров.

Оцените, насколько удачна эта идея, ответив на вопросы:

- 1. Соответствует ли ПУЭ по выбору плотности тока такое подключение?
- 2. Какая мощность «останется» двигателю, а какая будет нагревать провод?
- 3. Какое напряжение реально будет на двигателе?

учебный центр 🛆 армо-

#### Расчет нагрузочной способности цепи

- Рассчитать эквивалентное сопротивление электродвигателя по номинальному напряжению и току
- Рассчитать эквивалентное сопротивление одной жилы провода по удельному сопротивлению меди р=0,17 Ом⋅мм²/м, сечению и длине

- Нарисовать эквивалентную схему и рассчитать суммарное сопротивление
- Рассчитать ток в цепи
- Проверить ток на соответствие ПУЭ

## Расчет нагрузочной способности цепи

• Рассчитать падение напряжение на двигателе

• Рассчитать мощность на двигателе

- Рассчитать падение напряжения на проводнике
- Рассчитать выделяемую мощность на проводнике
- Нарисовать схему и обозначить мощности и падения напряжения на «+», на двигателе, на «-»

учебный центр 🛆 армо-

#### Практическое задание

- При монтаже щитка произошла ошибка, и <u>последовательно</u> оказались включенными двигатели мощностью 1 кВт и 1 Вт, 220В в одну цепь напряжением 220В. В цепь подали напряжение 220В. Что произойдет с двигателями?
- Нарисуйте эквивалентную схему, пренебрегаю сопротивлением проводов

### Практическое задание

 Рассчитайте сопротивление каждого элемента и цепи в целом

• Рассчитайте ток через цепь

учебный центр 🛆 армо—

### Практическое задание

 Рассчитайте падение напряжения на каждом из двигателей

■ Выводы:

- Автомобильный стартер мощностью 600 Вт и напряжением 12В подключили «прикуривателем» сечением 10мм длиной 2 м, и держали 30 секунд.
- До какой температуры нагреется провод?

учебный центр 🛆 армо-

### Расчет нагрузочной способности цепи

- Рассчитайте эквивалентное сопротивление электродвигателя по номинальному напряжению и току
- Рассчитайте эквивалентное сопротивление одной жилы провода по удельному сопротивлению меди р=0,17 Ом⋅мм²/м, сечению и длине

 Нарисуйте эквивалентную схему и рассчитать суммарное сопротивление

• Рассчитайте ток в цепи

учебный центр 🛆 армо-

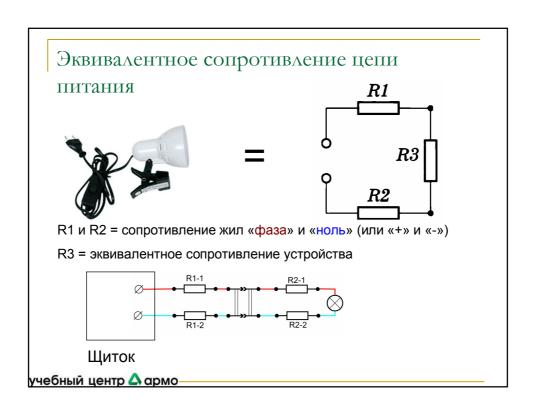
## Расчет нагрузочной способности цепи

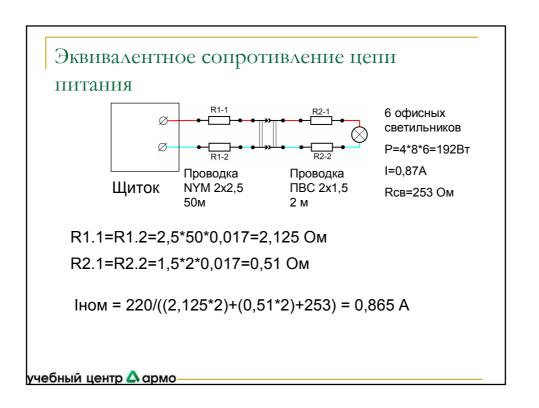
- Рассчитайте падение напряжения на проводнике
- Рассчитайте выделяемую мощность на проводнике
- Рассчитайте температуру нагрева исходя из теплоемкости меди 400 Дж/ (кг \* K), плотности меди 8,92 г/см³ и времени нагрева

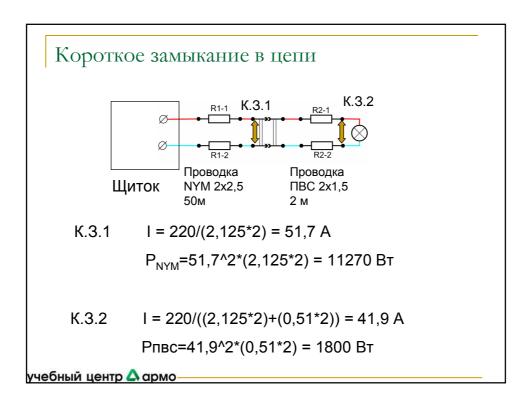
Конец части 5

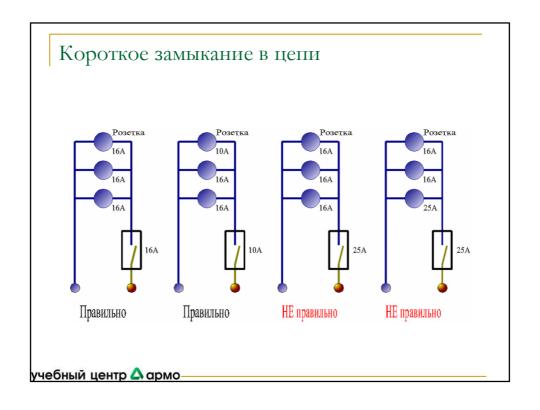
# Общая и специальная электротехника

Часть 6. Короткое замыкание в цепи









## Вопросы

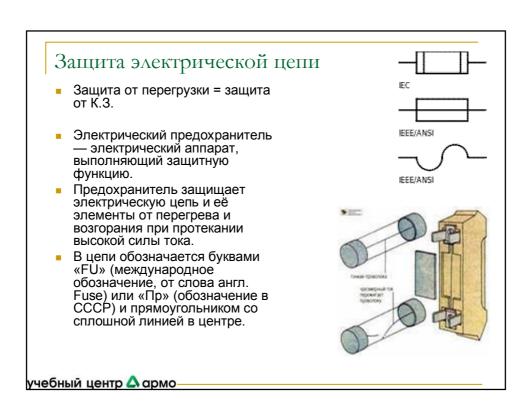


учебный центр 🛆 армо-

### Вопросы

- Чем определяется величина тока короткого замыкания?
- Во сколько раз токи К.З. больше нормальных?
- Как аппаратура, установленная в электрическом щитке, может отличить к.з. от перегрузки?

Часть 7. Защита электрической цепи







- Основной характеристикой является номинальный ток автоматического выключателя указывается на корпусе автомата и определяет, совместно с время-токовой характеристикой автомата, зависимость времени срабатывания автомата от силы тока, протекающей через автомат.
- В первом приближении можно сказать, что номинал автомата соответствует току, при превышении которого автоматический выключатель выключается, снимая напряжение с защищаемой цепи.
   учебный центр △ армо

ректавт ректавт номинальный ток автомата

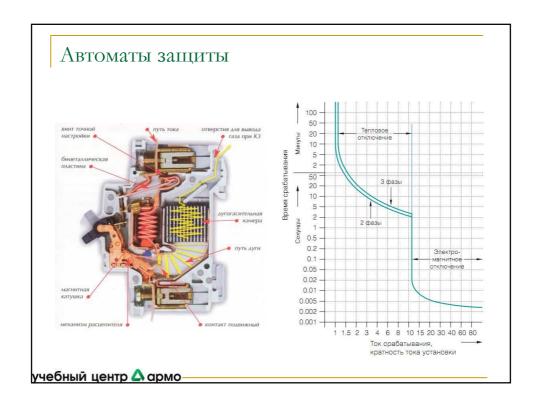
С25
Рабочий ток и характеристика автомата

#### Автоматы защиты

- Время-токовая характеристика автоматического выключателя определяет время срабатывания автомата в зависимости от времени и силы протекающего через автомат тока
- Рассмотрим характеристики срабатывания автомата на примере 16-и амперного автомата с время-токовой характеристикой С.

учебный центр 🛆 армо-

#### Время-токовая характеристика С16 2000 1000 500 Время расцепления, сек 200 100 50 20 0.5 0.2 0.02 0.01 0.005 0.002 8A 16A 32A 80A 160A 320A 800A Желтый цвет – тепловой расцепитель Красный цвет - магнитный расцепитель



- Характеристика В отличается от других характеристик тем, что отключение по перегрузке происходит в пределах 3-х - 5-и кратных превышений рабочего тока над номинальным для автомата током. При таких перегрузках, срабатывание происходит за время от 20 милисекунд до 20 секунд.
- Характеристика С отличается от других характеристик тем, что отключение по перегрузке происходит в пределах 5-х - 10-и кратных превышений рабочего тока над номинальным для автомата током, что позволяет применять автомат с характеристикой С как для бытовых целей, при подключении активных (не реактивных) нагрузок, так и в производственных, при подключении автоматов для защиты цепей, питающих электроприборы с реактивной составляющей нагрузки.
- <u>Характеристика D</u> отличается от B и C тем, что быстрое отключение по току нагрузки происходит в диапазоне от 10-и до 14и кратного превышения номинального тока автоматического выключателя.

Специфика время-токовой характеристики D заключается в том, что автоматы характеристики D применяются в основном в промышленности, для защиты электродвигателей и питающих их линий. Так как при запуске электродвигателя, он выходит на номинальный режим не сразу, а некоторое время разгоняется, то пусковые токи во время разгона электродвигателя эначительно превышают ток, потребляемый в нормальном режиме и могут достигать десятикратного значения рабочего тока.

Автомат характеристики D с номиналом в 40 Ампер не выключится при запуске электродвигателя даже если пусковой ток достигнет 400 ампер на время меньшее 1 секунды, так же он может не выключиться и при более высоких токах, в случае еще более короткого периода протекания 

УЧЕБНЫЙ СРЕМП

- Применение автоматического выключателя, как любого электрического прибора обуславливается напряжением питающей его сети.
- Маркировка, обозначающая рабочее напряжение автомата является обязательной и выносится на переднюю поверхность и может быть, для модульных автоматов, 220, 230, 250, 380, 400, обозначая соответствие 220В и 380В.
- Кроме указания рабочего напряжения, в том же блоке маркировки указывается вид тока для которого работы с которым данный автомат предназначен. Наиболее часто встречающимся обозначением, указанным на изображении, является ~, обозначающим переменный ток.



учебный центр 🛆 армо-

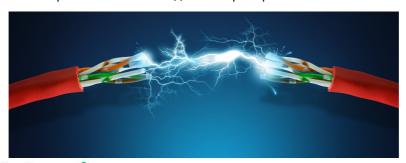
#### Автоматы защиты

- Является важной характеристикой для промышленного применения автоматов. Данная характеристика определяет максимальный ток, при протекании которого через автомат, автоматический выключатель сможет разомкнуть цепь хотя бы один раз. Так как токи короткого замыкания могут достигать нескольких тысяч ампер, в связи с этим маркировка ПКС автомата указывается в килоАмперах (например 6кА говорит о том, что при токе КЗ до 6000 ампер автомат отключит напряжение и защитит проводку).
- Иными словами, ПКС показывает максимальный ток при котором подвижный контакт автомата не приварится (не пригорит) к неподвижному контакту вследствие возникновении и гашении дуги при размыкании контактов.



### Электрическая дуга

- Электрическая дуга (Вольтова дуга, Дуговой разряд) физическое явление, один из видов электрического разряда в газе.
- Впервые была описана в 1802 году русским учёным В. Петровым.
   Электрическая дуга является частным случаем четвёртой формы состояния вещества плазмы и состоит из ионизированного, электрически квазинейтрального газа.
- Присутствие свободных электрических зарядов обеспечивает проводимость электрической дуги.
- После поджига дуга может оставаться устойчивой при разведении электрических контактов до некоторого расстояния.





Существует выбор ПКС модульного автомата в диапазоне 10кА, 6кА, 4,5кА и 3кА зависимости от возможного тока короткого замыкания. Если защищаемая линия проводки находится близко от подстанции (что часто бывает на производственных площадках) и ток КЗ может быть высок, то часто применяют 10кА автомат, если автомат защищает электропроводку в свежепостроенном доме с новой (своя подстанция) и достаточной мощности электрической инфраструктурой, предпочтительно использовать 6кА автомат. В других случаях вполне достаточно 4,5кА автомата для реализации экономически эффективной электро защиты. Следует отметить, что с повышением ПКС от 4500А до 10000А стоимость автомата

#### ПРЕДЕЛЬНЫЙ ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ



Характеристика Предельного Тока Короткого Замыкания (Предельная Коммутационная Способность) модульного оборудования может достигать 10кА, при этом, обычно ширина модуля (полюса) такого, 10кА выключателя больше в 1,5 раз, чем обычного модульного автомата и составляет 27 мм.

Наиболее часто встречающиеся модульные автоматы имеют характеристику 4,5кA, чего в целом достаточно

увеличивается учебный центр 🛆 армо

#### Вопросы



#### Вопросы

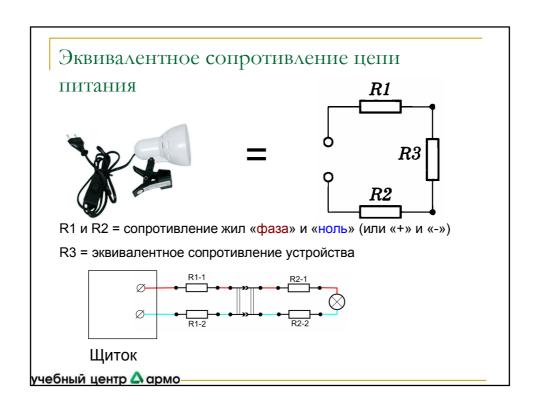
- Что такое номинальный ток защиты?
- Каковы критерии выбора номинального тока защиты?
- Как маркируется номинальный ток защиты?
- Что такое время-токовая характеристика?
- В каких областях применяется характеристика С?
- В каких областях применяется характеристика В?
- В каких областях применяется характеристика D?

учебный центр 🛆 армо-

#### Вопросы

- Что такое рабочее напряжение автомата?
- Можно ли автоматом с рабочим напряжением 1000В защищать цепи напряжением 12В?
- Как маркируется рабочее напряжение?
- Как возникает дуговой электрический разряд?
- Что такое предельный ток короткого замыкания?

Часть 6. Короткое замыкание в цепи



## Эквивалентное сопротивление цепи питания



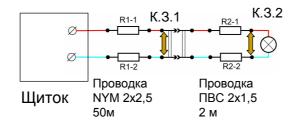
R1.1=R1.2=2,5\*50\*0,017=2,125 Om

R2.1=R2.2=1,5\*2\*0,017=0,51 Om

IHOM = 220/((2,125\*2)+(0,51\*2)+253) = 0,865 A

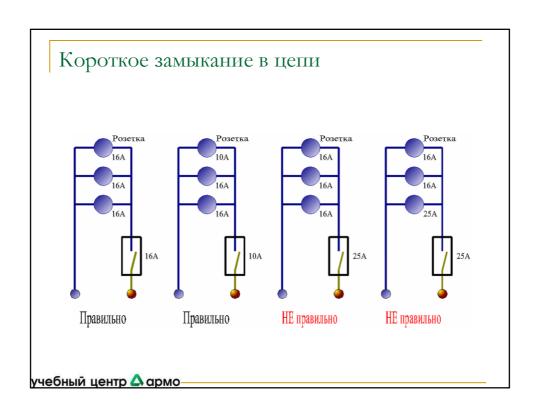
учебный центр 🛆 армо-

## Короткое замыкание в цепи



K.3.1 I = 
$$220/(2,125*2) = 51,7 \text{ A}$$
  
 $P_{NYM} = 51,7^2*(2,125*2) = 11270 \text{ BT}$ 

K.3.2 I = 
$$220/((2,125*2)+(0,51*2)) = 41,9 \text{ A}$$
  
Pnbc= $41,9^2*(0,51*2) = 1800 \text{ BT}$ 





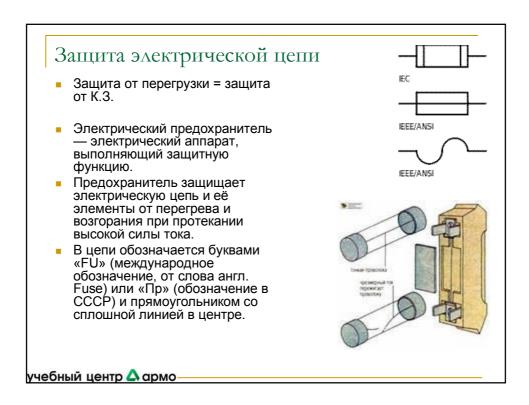
#### Вопросы

- Чем определяется величина тока короткого замыкания?
- Во сколько раз токи К.З. больше нормальных?
- Как аппаратура, установленная в электрическом щитке, может отличить к.з. от перегрузки?

учебный центр 🛆 армо-

## Общая и специальная электротехника

Часть 7. Защита электрической цепи





- Характеристиками автоматического выключателя называется совокупность описаний отличительных качести и свойств, позволяющих автомат выполнять специфические, свойственные именно характеризуемому автоматическому выключателю, функции.
- К характеристикам автомата относятся несколько разнотипны параметров, описывающих:
- электрические параметры;
- параметры защитного срабатывания;
- массо-габаритные характеристики;
- монтажные характеристики;



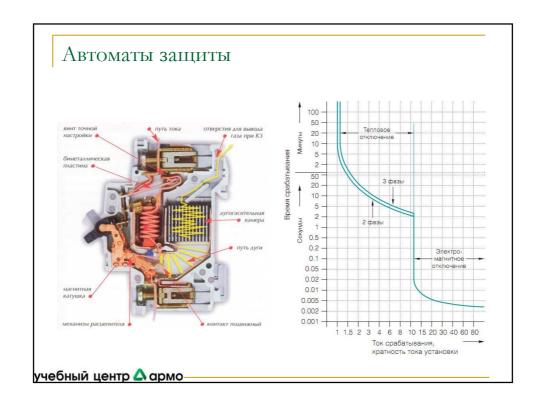
учебный центр 🛆 армо-

#### Автоматы защиты

- Основной характеристикой является номинальный ток автоматического выключателя указывается на корпусе автомата и определяет, совместно с время-токовой характеристикой автомата, зависимость времени срабатывания автомата от силы тока, протекающей через автомат.
- В первом приближении можно сказать, что номинал автомата соответствует току, при превышении которого автоматический выключатель выключается, снимая напряжение с защищаемой цепи.



#### Автоматы защиты Время-токовая характеристика С16 10000 5000 2000 • Время-токовая характеристика 1000 автоматического 500 Время расцепления, сек 200 выключателя определяет 100 время срабатывания 50 20 автомата в зависимости от времени и силы протекающего через 0.5 автомат тока 0.05 Рассмотрим характеристики 0.02 0.01 срабатывания автомата 0.002 на примере 16-и 8A 16A 32A 80A 160A 320A 800A амперного автомата с время-токовой Желтый цвет – тепловой расцепитель характеристикой С. Красный цвет – магнитный расцепитель учебный центр 🛆 армо-



- Характеристика В отличается от других характеристик тем, что отключение по перегрузке происходит в пределах 3-х - 5-и кратных превышений рабочего тока над номинальным для автомата током. При таких перегрузках, срабатывание происходит за время от 20 милисекунд до 20 секунд.
- Характеристика С отличается от других характеристик тем, что отключение по перегрузке происходит в пределах 5-х - 10-и кратных превышений рабочего тока над номинальным для автомата током, что позволяет применять автомат с характеристикой С как для бытовых целей, при подключении активных (не реактивных) нагрузок, так и в производственных, при подключении автоматов для защиты цепей, питающих электроприборы с реактивной составляющей нагрузки.
- Характеристика D отличается от В и С тем, что быстрое отключение по току нагрузки происходит в диапазоне от 10-и до 14и кратного превышения номинального тока автоматического выключателя.

Специфика время-токовой характеристики D заключается в том, что автоматы характеристики D цифика время-половои марактеристики D заключается в том, что автоматы карактеристики D применяются в основном в промышленности, для защиты электродвигателей и питающих их линий. Так как при запуске электродвигателя, он выходит на номинальный режим не сразу, а некоторое время разгоняется, то пусковые токи во время разгона электродвигателя экачительно превышают ток, потребляемый в нормальном режиме и могут достигать десятикратного значения

Автомат характеристики D с номиналом в 40 Ампер не выключится при запуске электродвигателя даже если пусковой ток достигнет 400 ампер на время меньшее 1 секунды, так же он может не выключиться и при более высоких токах, в случае еще более короткого периода протекания учебный (한환화 армо

#### Автоматы защиты

- Применение автоматического выключателя, как любого электрического прибора обуславливается напряжением питающей его сети.
- Маркировка, обозначающая рабочее напряжение автомата является обязательной и выносится на переднюю поверхность и может быть, для модульных автоматов, 220, 230, 250, 380, 400, обозначая соответствие 220В и 380В.
- Кроме указания рабочего напряжения, в том же блоке маркировки указывается вид тока для которого работы с которым данный автомат предназначен. Наиболее часто встречающимся обозначением, указанным на изображении, является ~, обозначающим переменный ток.



- Является важной характеристикой для промышленного применения автоматов. Данная характеристика определяет максимальный ток, при протекании которого через автомат, автоматический выключатель сможет разомкнуть цепь хотя бы один раз. Так как токи короткого замыкания могут достигать нескольких тысяч ампер, в связи с этим маркировка ПКС автомата указывается в килоАмперах (например 6кА говорит о том, что при токе КЗ до 6000 ампер автомат отключит напряжение и защитит проводку).
- Иными словами, ПКС показывает максимальный ток при котором подвижный контакт автомата не приварится (не пригорит) к неподвижному контакту вследствие возникновении и гашении дуги при размыкании контактов.



учебный центр 🛆 армо-

# Электрическая дуга

- Электрическая дуга (Вольтова дуга, Дуговой разряд) физическое явление, один из видов электрического разряда в газе.
- Впервые была описана в 1802 году русским учёным В. Петровым.
   Электрическая дуга является частным случаем четвёртой формы состояния вещества плазмы и состоит из ионизированного, электрически квазинейтрального газа.
- Присутствие свободных электрических зарядов обеспечивает проводимость электрической дуги.
- После поджига дуга может оставаться устойчивой при разведении электрических контактов до некоторого расстояния.





Существует выбор ПКС модульного автомата в диапазоне 10кА, 6кА, 4,5кА и 3кА зависимости от возможного тока короткого замыкания. Если защищаемая линия проводки находится близко от подстанции (что часто бывает на производственных площадках) и ток КЗ может быть высок, то часто применяют 10кА автомат, если автомат защищает электропроводку в свежепостроенном доме с новой (своя подстанция) и достаточной мощности электрической инфраструктурой, предпочтительно использовать 6кА автомат. В других случаях вполне достаточно 4,5кА автомата для реализации экономически эффективной электро защиты. Следует отметить, что с повышением ПКС от 4500А до 10000А стоимость автомата

увеличивается **учебный центр Дармо** 

#### ПРЕДЕЛЬНЫЙ ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ



Характеристика Предельного Тока Короткого Замыкания (Предельная Коммутационная Способность) модульного оборудования может достигать 10кА, при этом, обычно ширина модуля (полюса) такого, 10кА выключателя больше в 1,5 раз, чем обычного модульного автомата и составляет 27 мм.

Наиболее часто встречающиеся модульные автоматы имеют характеристику 4,5кА, чего в целом достаточно

# Вопросы



учебный центр 🛆 армо

# Вопросы

- Что такое номинальный ток защиты?
- Каковы критерии выбора номинального тока защиты?
- Как маркируется номинальный ток защиты?
- Что такое время-токовая характеристика?
- В каких областях применяется характеристика С?
- В каких областях применяется характеристика В?
- В каких областях применяется характеристика D?

### Вопросы

- Что такое рабочее напряжение автомата?
- Можно ли автоматом с рабочим напряжением 1000В защищать цепи напряжением 12В?
- Как маркируется рабочее напряжение?
- Как возникает дуговой электрический разряд?
- Что такое предельный ток короткого замыкания?

учебный центр 🛆 армо-

Общая электротехника

Книга 2. Переменный ток

# Почему переменный ток?

В предыдущем разделе изучали постоянный ток, который в промышленности используется мало

Промышленный ток — переменный, потому что:

- Легче получить при помощи генераторов
- Легче передавать
- Только переменное напряжение можно преобразовать

На данном этапе развития техники переменный ток удобнее

учебный центр 🛆 армо-

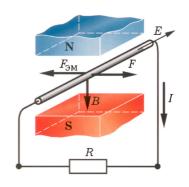
# Общая и специальная электротехника

Часть 8.

Однофазный переменный ток

### Электромагнитная индукция

Электромагнитная индукция — явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, проходящего через него.
 Электромагнитная индукция была открыта Майклом Фарадеем 29 августа 1831 года.



При перемещении проводника в магнитном поле возникает электрический ток

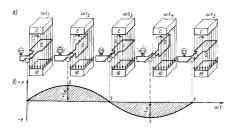
учебный центр 🛆 армо-

### Немного истории

- В 1820 г. Ганс Христиан Эрстед показал, что протекающий по цепи электрический ток вызывает отклонение магнитной стрелки. Если электрический ток порождает магнетизм, то с магнетизмом должно быть связано появление электрического тока. Эта мысль захватила английского ученого М. Фарадея. «Превратить магнетизм в электричество», записал он в 1822 г. в своём дневнике. Многие годы настойчиво ставил он различные опыты, но безуспешно, и только 29 августа 1831 г. наступил триумф: он открыл явление электромагнитной индукции. Установка, на которой Фарадей сделал своё открытие, заключалась в том, что Фарадей изготовил кольцо из мягкого железа примерно 2 см шириной и 15 см диаметром и намотал много витков медной проволоки на каждой половине кольца. Цепь одной обмотки замыкала проволока, в её витках находилась магнитная стрелка, удаленная настолько, чтобы не сказывалось действие магнетизма, созданного в кольце. Через вторую обмотку пропускался ток от батареи гальванических элементов. При включении тока магнитная стрелка совершала несколько колебаний и успокаивалась; когда ток прерывали, стрелка снова колебалась. Выяснилось, что стрелка отклонялась в одну сторону при включении тока и в другую, когда ток прерывался. М. Фарадей установил, что «превращать магнетизм в электричество» можно и с помощью обыкновенного магнита.
- В это же время американский физик Джозеф Генри также успешно проводил опыты по индукции токов, но пока он собирался опубликовать результаты своих опытов, в печати появилось сообщение М. Фарадея об открытии им электромагнитной индукции.
- М. Фарадей стремился использовать открытое им явление, чтобы получить новый источник электричества.

#### Ролик 01

# Генератор переменного тока



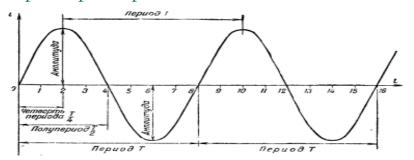
Переме́нный ток (англ. alternating current) — электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению или, в частном случае, изменяется по величине, сохраняя своё направление в электрической цепи неизменным.

Условное обозначение на электроприборах:  $\sim$  или  $\approx$  (знак синусоиды), или латинскими буквами AC.

#### Ролик 02

учебный центр 🛆 армо-

# Параметры переменного тока



### Переменное напряжение характеризуется:

- Периодом T (или частотой f )
- Амплитудой U<sub>A</sub>

$$f = \frac{1}{T} \left[ \frac{1}{sec} \right]$$

# Параметры переменного тока

Синусоидальным током называется периодический переменный ток, который с течением времени изменяется по закону синуса.

Синусоидальный ток — элементарный, то есть его невозможно разложить на другие более простые переменные токи.

Переменный синусоидальный ток выражается формулой:

 $i=I_m\sin\omega t$ . где

 $I_m$  — амплитуда синусоидального тока;

 $\omega t$  — некоторый угол, называемый фазой синусоидального тока.

Фаза синусоидального тока  $\omega t$  изменяется пропорционально времени t.

Множитель  $\omega$ , входящий в выражение фазы  $\omega t$  — величина постоянная, называемая угловой частотой переменного тока.

учебный центр 🛆 армо-

# Параметры переменного тока

Угловая частота  $\omega$  синусоидального тока зависит от частоты f этого тока и определяется формулой:

$$\omega = 2\pi f = rac{2\pi}{T}$$
. где

 $\omega$  — угловая частота синусоидального тока;

f — частота синусоидального тока;

T — период синусоидального тока;

 $2\pi$  — центральный угол окружности, выраженный в радианах.

# Действующее напряжение и ток

Мощность переменного тока

Действующим (эффективным) значением силы переменного тока называют величину постоянного тока, действие которого произведёт такую же работу (тепловой или электродинамический эффект), что и рассматриваемый переменный ток за время одного периода. В современной литературе чаще используется математическое определение этой величины — среднеквадратичное значение силы переменного тока.

Иначе говоря, действующее значение тока можно определить по формуле:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

Для гармонических колебаний тока

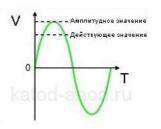
$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_m \approx 0,707 \cdot I_m$$

Аналогичным образом определяются действующие значения ЭДС и напряжения.

учебный центр 🛆 армо-

# Какое напряжение в сети?

- Бытовые сети переменного электрического тока преимущественно имеют номинальное значение напряжения, равное 220 В. Но обратите внимание на то, значение напряжения в начале периода равно нулю, затем увеличивается до положительного максимума в 310 В, после чего уменьшается до нуля и, прежде чем завершится период, достигает максимального отрицательного значения 310 В.
- 220 В это действующее значение переменного напряжения. Оно даёт такой же нагревательный (тепловой) эффект, как и 220 В постоянного тока. Значение 220 В часто называют среднеквадратичным значением переменного напряжения.



### Мгновенная мощность

Определение мгновенной электрической мощности:

мгновенная электрическая мощность p(t), выделяющаяся на участке электрической цепи, есть произведение мгновенных значений напряжения u(t) и силы тока i(t)на этом участке:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t).$$

Если участок цепи содержит резистор с электрическим сопротивлением R, то

$$p(t) = i(t)^2 \cdot R = \frac{u(t)^2}{R}$$

учебный центр 🛆 армо-

### Мощность переменного тока

В разделе «постоянный ток" было выяснено, что в цепях постоянного тока потребляемая мощность определяется как произведение напряжения и силы тока, а работа как произведение мощности на время. Но вот в цепях переменного тока простой расчет невозможен. Если в цепь переменного тока включено только активное сопротивление, такие например, как лампочка, утюг или электрочайник, то полную мощность можно рассчитать как произведение действующего напряжения и тока, которую и покажут нам измерительные приборы, т.е. P=U\*I. Такие потребители не содержат индуктивного и емкостного сопротивлений. И, соответственно, работа определяется как A=Ult. Построим для этого случая кривую полной мощности.

# Мощность переменного тока

- В любое время периода мощность положительна, потому как в любое время и напряжение и ток либо положительны, либо отрицательны одновременно. Также говорят, что напряжение и ток совпадают по фазе, либо о нулевом сдвиге фаз между напряжением и током - это одно и тоже.
- P(мощность) = U∂ \* I∂
- $P = 0.5 \ Umax * Imax$

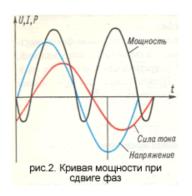


учебный центр 🛆 армо-

### Фазовый сдвиг

- Но фаза тока и напряжения практически всегда не совпадают из-за наличия реактивных сопротивлений (емкость и индуктивность, см. далее)
- 1) ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ (обозначается как S) - ее можно узнать перемножением действующего напряжения и тока. Это те значения, которые нам показывают амперметр и вольтметр. Единица полной мощности - вольтампер(ВА);
- 2)АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ (обозначается как Р) - мощность, которая фактически преобразуется в полезную мощность. Единица автивной мощности – Ватт (Вт);
- 3)РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ (обозначается как Q) дополнительные колебания нагрузки за счет реактивных элементов.
   Единица реактивной мощности - воль-

Единица реактивной мощности - вольампер реактивный (вар).



### Активная и реактивная мощность

 Для однофазного синусоидального переменного тока АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Для однофазного синусоидального переменного тока РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

где Uи I — среднеквадратичные значения напряжения и тока

 $\varphi$  — угол сдвига фаз между ними.

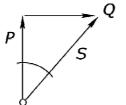
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

 $\sqrt{P^2 + Q^2}, \;\;$  Где S – полная мощность, P – активная мощность, Q – реактивная мощность

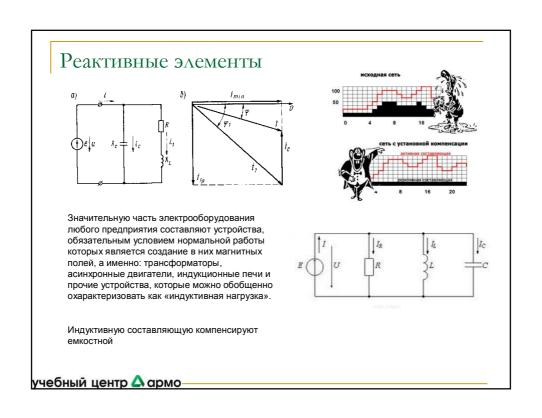
учебный центр 🛆 армо-

### Реактивная мощность

Физический смысл реактивной мощности — это энергия, перекачиваемая от источника на реактивные элементы приёмника (индуктивности, конденсаторы, обмотки двигателей), а затем возвращаемая этими элементами обратно в источник в течение одного периода колебаний, отнесённая к этому периоду.



Нагрев	Полная
проводов	мощность
Нагрузка на электро-	Полная мощность
генераторы	
Полезная	Активная
работа	мощность
Потери в	Реактивная
линиях	мощность
передач	





### Вопросы

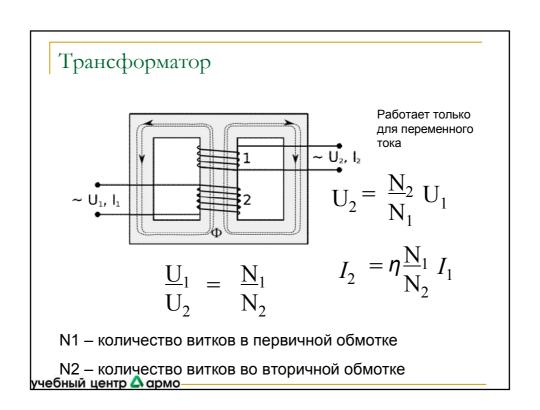
- Чем отличается амплитудное (максимальное) значение напряжения от действующего?
- Что такое фазовый сдвиг?
- За счет чего образуется фазовый сдвиг?
- На какую минимальную электрическую прочность должна быть рассчитана изоляция в бытовой сети 220В?

учебный центр 🛆 армо-

# Общая и специальная электротехника

Часть 9. Электрические машины. Трансформатор





### Трансформатор

#### КПД трансформатора

КПД трансформатора находится по следующей формуле:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_0 + P_L \cdot n^2}{P_2 \cdot n}}$$

где

 $P_0$  — потери холостого хода (кВт) при номинальном напряжении

 $P_L$  — нагрузочные потери (кВт) при номинальном токе

 $P_2$  — активная мощность (кВт), подаваемая на нагрузку

n — относительная степень нагружения (при номинальном токе n=1).

учебный центр 🛆 армо-

# Трансформатор

#### Режимы работы трансформатора

- 1. Режим холостого хода. Данный режим характеризуется разомкнутой вторичной цепью трансформатора, вследствие чего ток в ней не течёт. По первичной обмотке протекает ток холостого хода, главной составляющей которого является реактивный ток намагничивания. С помощью опыта холостого хода можно определить КПД трансформатора, коэффициент трансформации, а также потери в сердечнике (т.н. «потери в стали»).
- 2. Режим нагрузки. Этот режим характеризуется работой трансформатора с подключенными источником в первичной и нагрузкой во вторичной цепи трансформатора. В вторичной обмотке протекает ток нагрузки, а в первичной ток, который можно представить как сумму тока нагрузки (пересчитанного из соотношения числа витков обмоток и вторичного тока) и ток холостого хода. Данный режим является основным рабочим для трансформатора.
- 3. Режим короткого замыкания. Этот режим получается в результате замыкания вторичной цепи накоротко. Это разновидность режима нагрузки, при котором сопротивление вторичной обмотки является единственной нагрузкой. С помощью опыта короткого замыкания можно определить потери на нагрев обмоток в цепи трансформатора («потери в меди»). Это явление учитывается в схеме замещения реального трансформатора при помощи активного сопротивления.

### Трансформатор

#### Потери в трансформаторах

Степень потерь (и снижения КПД) в трансформаторе зависит, главным образом, от качества, конструкции и материала «трансформаторного железа» (электротехническая сталь). Потери в стали состоят в основном из потерь на нагрев сердечника, на гистерезис и вихревые токи. Потери в трансформаторе, где «железо» монолитное, значительно больше, чем в трансформаторе, где оно составлено из многих секций (так как в этом случае уменьшается количество вихревых токов). На практике монолитные сердечники не применяются. Для снижения потерь в магнитопроводе трансформатора магнитопровод может изготавливаться из специальных сортов трансформаторной стали с добавлением кремния, который повышает удельное сопротивление железа электрическому току, а сами пластины лакируются для изоляции друг от друга.

учебный центр 🛆 армо-

# Силовой трансформатор

- Силовой трансформатор переменного тока трансформатор, предназначенный для преобразования электрической энергии в электрических сетях и в установках.
- Слово «силовой» отражает работу данного вида трансформаторов с большими мощностями.
- Необходимость применения силовых трансформаторов обусловлена различной величиной:
- рабочих напряжений ЛЭП (35-750 кВ),
- городских электросетей (как правило 6,10 кВ),
- напряжения, подаваемого конечным потребителям (0,4 кВ, они же 380/220 В)



### Высоковольтный трансформатор

- Масляный трансформатор

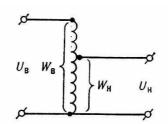
   тепло, выделяющееся на сердечнике, отводится при помощи циркуляции трансформаторного масла с последующим охлаждением в радиаторе
- Сухой литой трансформатор – тепло сердечника отводится за счет теплопроводности опрессовки из эпоксидной смолы
- Сухой воздушный трансорфматор – тепло сердечника отводится за счет теплопроводности сердечника и естественного охлаждения сердечника



учебный центр 🛆 армо

# Автотрансфоматор

- Автотрансформатор вариант трансформатора, в котором первичная и вторичная обмотки соединены напрямую, и имеют за счёт этого не только электромагнитную связь, но и электрическу Обмотка автотрансформатора имеет неско выводов (как минимум 3), подключаясь к которым, можно получать разные напряжен
- Преимуществом автотрансформатора является более высокий КПД, поскольку ли часть мощности подвергается преобразова это особенно существенно, когда входно выходное напряжения отличаются незначительно.
- Существенным достоинством является меньший расход стали для сердечника, меди для обмоток, меньший вес и габариты, и в итоге — меньшая стоимость.
- Недостатком является отсутствие электрической изоляции (гальванической развязки) между первичной и вторичной цепью.
- Применение автотрансформаторов экономически оправдано вместо сухих трансформаторов для соединения эффективно заземленных сетей с напряжением 110 кВ и выше при коэффициентах трансформации не более 3-4.





- Трансформатор тока трансформатор, питающийся от источника тока. Типичное применение для снижения первичного тока до величины, используемой в цепях измерения, защиты, управления и сигнализации, кроме того, трансформатор тока осуществляет гальваническую развязку (отличие от шунтовых схем измерения тока). измерения тока).
- Номинальное значение тока вторичной обмотки 1 A, 5 A. Первичная обмотка трансформатора тока включается в цепь с измеряемым переменным током, а во вторичную включаются измерительные приборы́.
- Приборы рассчитаны на токи в первичной обмотке до 200/250/300/400/500/600A и на 5A на вторичной
- ВНИМАНИЕ! Вторичная обмотка токового трансформатора должна быть надёжно замкнута на низкоомную нагрузку измерительного прибора или накоротко.



















учебный центр 🛆 армо-

# Вопросы



# Практическое задание

В первичной обмотке трансформатора 2200 витков, во вторичной обмотке трансформатора 120 витков. Напряжение на первичной обмотке 220В, максимальный ток 1А

- Чему равно напряжение на вторичной обмотке?
- Каков максимальный ток во вторичной обмотке?

учебный центр 🛆 армо-

# Практическое задание

Трансформатор тока промаркирован 100\5A. Релейная защита, датчик которой включен через трансформатор, должна срабатывать при токе в силовой цепи 75A. На какой ток надо настраивать датчик во вторичной цепи?

### Вопросы

- Что такое трансформатор?
- Для чего предназначен силовой трансформатор?
- Как устроен масляный трансформатор, его преимущества?
- Как устроен сухой трансформатор, его преимущества?
- Для чего служит трансформатор тока?

учебный центр 🛆 армо-

# Общая и специальная электротехника

Часть 10. Осветительные приборы

### Источники света

- Источники света характеризуются:
- КПД коэффициент полезного действия, или коэффициент преобразования энергии
- Цветовая температура
- Индекс цветопередачи

учебный центр 🛆 армо-

# КПД

Источник света	Световая отдача, люмен/ватт	кпд, %
Свеча, керосиновая лампа	0,3	0,04%
40Вт лампа накаливания, 220В	12	1,9%
Кварцевая галогенная лампа (24 В)	24	3,5%
Т8 линейная, с электронным балластом	80-100	12-15%
Белый OLED	102	15%
Ксеноновые газоразрядные (дуговые)	50	7,3%
Натриевая лампа высокого давления ДНАТ	150	22%
Натриевая лампа низкого давления	200	29%
Металлогалогенная газоразрядная Биью центр А домо	115	17%

97

### Индекс цветопередачи

- Индекс цветопередачи, коэффициент цветопередачи (англ. colour rendering index, CRI или Ra) — параметр, характеризующий уровень соответствия естественного цвета тела видимому (кажущемуся) цвету этого тела при освещении его данным источником света[1].
- Необходимость во введении CRI была вызвана тем, что два различных типа ламп могут иметь одну и ту же цветовую температуру, но передавать цвета по-разному.
- В свою очередь, индекс цветопередачи определяется как мера степени отклонения цвета объекта, освещенного источником света, от его цвета при освещении эталонным источником света сопоставимой цветовой температуры.



Спектр излучения: непрерывный лампы накаливания (вверху) ■линейчатый компактной люминесцентной лампы (внизу)

Цветопередача	Вид лампы
Очень хорошая	Лампа накаливания Галогенная лампа Пятикомпон.люминофор
Приемлемая	Светодиоды Трехкомп.люминофор
Плохая	Ксенон ДРЛ ДНАТ

учебный центр 🛆 армо

### Цветовая температура

- Цветовая температура (колориметрическая температура; обозначается Тс) — характеристика хода интенсивности излучения источника света как функции длины волны в оптическом диапазоне.
- Согласно формуле Планка, цветовая температура определяется как температура абсолютно чёрного тела, при которой оно испускает излучение того же цветового тона, что и рассматриваемое излучение.
- Шкала цветовых температур распространённых источников света
- 1500—2000 К свет пламени свечи;
- 2800—2854 К газонаполненные лампы накаливания с вольфрамовой спиралью:
- 3400 К солнце у горизонта; 3500 К люминесцентная лампа белого света;
- 4000 К люминесцентная лампа холодного белого света;
- 4300—4500 К утреннее солнце и солнце в обеденное время;
- 4500—5000 К ксеноновая дуговая лампа, электрическая дуга;
- 5000 К солнце в полдень;
- 5500 К облака в полдень;
- 6200 К близкий к дневному свет;
- 7500 К дневной свет, с большой долей рассеянного от чистого голубого неба:
- 9500 К синее безоблачное небо на северной стороне перед восходом
- 20 000 K - синее небо в полярных широтах;

### Лампа накаливания

Лампа накаливания электрический источник света, в котором тело накала (тугоплавкий проводник), помещённое в прозрачный вакуумированный или заполненный инертным газом сосуд, нагревается до высокой температуры за счёт протекания через него электрического тока, в результате чего излучает в широком спектральном диапазоне, в том числе видимый свет. В качестве тела накала в настоящее время используется в основном спираль из сплавов на основе вольфрама



учебный центр 🛆 армо-

### Галогенная лампа

■ Галоге́нная ла́мпа — лампа накаливания, в баллон которой добавлен буферный газ: пары галогенов (брома или иода). Это повышает время жизни лампы до 2000—4000 часов, и позволяет повысить температуру спирали. При этом рабочая температура спирали составляет примерно 3000 К.



### Люминесцентная лампа

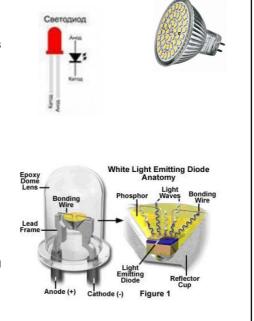
Люминесце́нтная лампа — газоразрядный источник света, в котором электрический разряд в парах ртути создаёт ультрафиолетовое излучение, которое преобразуется в видимый свет с помощью люминофора — смеси галофосфата кальция с другими элементами.

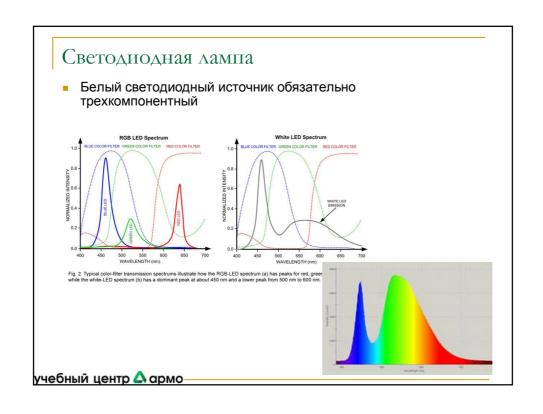


учебный центр 🛆 армо-

### Светодиодная лампа

- Светодиодные лампы или светодиодные светильники в качестве источника света используют светодиоды, применяются для бытового, промышленного и уличного освещения. Светодиодная лампа является одним из самых экологически чистых источников света.
- Падение напряжения на светодиоде 1,5В. При применении другого напряжения питания светодиоды включают последовательно или применяют преобразователи напряжения







# Вопросы



учебный центр 🛆 армо-

# Вопросы

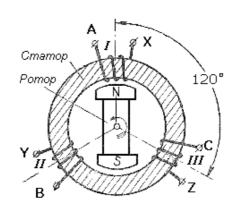
- Какой источник света лучше всего для человеческого глаза?
- Какие лампы самые экономичные?
- Чем галогенная лампа отличается от лампы накаливания?
- Что такое цветовая температура?
- Что такое индекс цветопередачи?

# Общая и специальная электротехника

Часть 11. Трехфазный ток

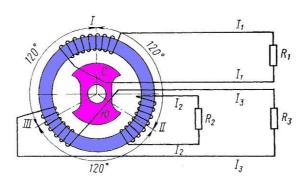
# Генератор трехфазного напряжения

 В генераторе трехфазного напряжения вместо одной обмотки используются три



# Генератор трехфазного напряжения

 Независимое включение обмоток – пример простейшего включения. Требует по 2 провода на нагрузку, 6 проводов на 3 нагрузки



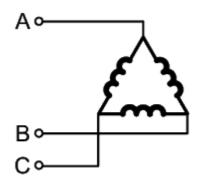
учебный центр 🛆 армо-

# Включение генератора «треугольником»

Более экономичный способ включения.

Три нагрузки включаются на 3 провода.

Типичная схема для ЛЭП выше 110кВ

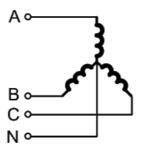


Например:

$$U_{AB} {=} U_{BC} {=} U_{AC} {=} 220 \ B$$

# Включение генератора «звездой»

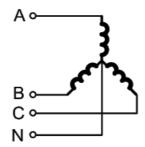
- Самая распространенная схема для сетей от 0,4кВ до 11,5 кВ
- A фаза «А» (желтый)
- B Фаза «В» (зеленый)
- С Фаза «С» (красный)
- N нейтраль (голубой)



учебный центр 🛆 армо-

# Включение генератора «звездой»

- Самая распространенная схема для сетей от 0,4кВ до 11,5 кВ
- A фаза «А» (желтый)
- В Фаза «В» (зеленый)
- С Фаза «С» (красный)
- **N** нейтраль (голубой)



Линейные и фазные величины

Напряжение между линейным проводом и нейтралью (Ua, Ub, Uc) называется фазным. Напряжение между двумя линейными проводами ( $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ ) называется линейным. Для соединения обмоток звездой, при симметричной нагрузке, справедливо соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями

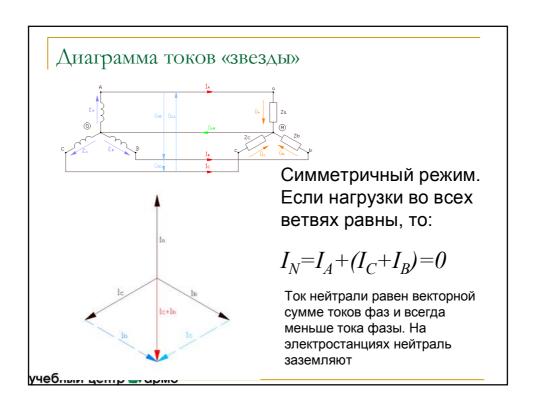
$$I_L = I_F;$$
  $U_L = \sqrt{3} \times U_F$ 

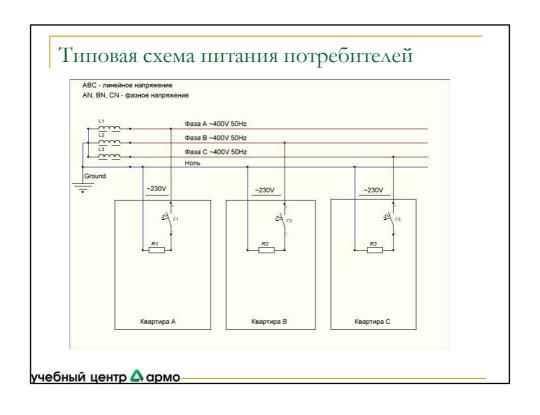
Например:

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{AC} = 380 \ B$$

$$U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = 220 B$$

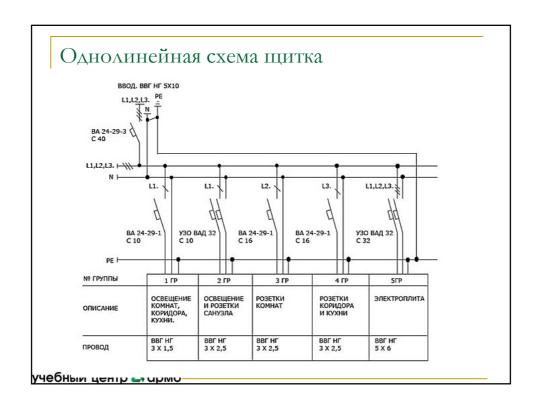
Генератор тот же, а фазные напряжения выше, токи фаз меньше и потери в проводах минимальны



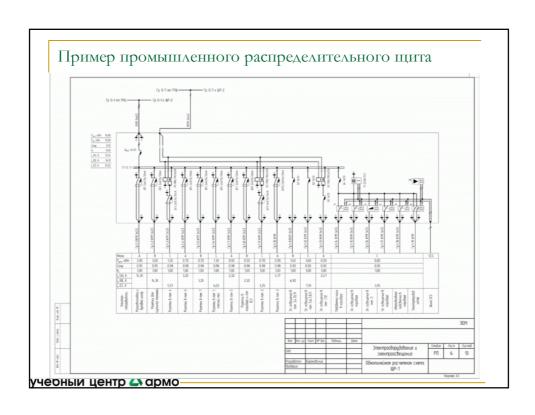


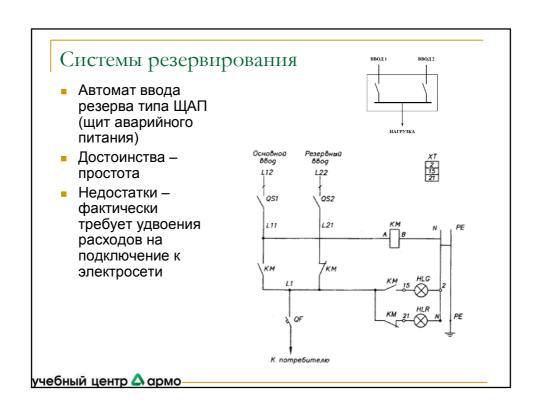


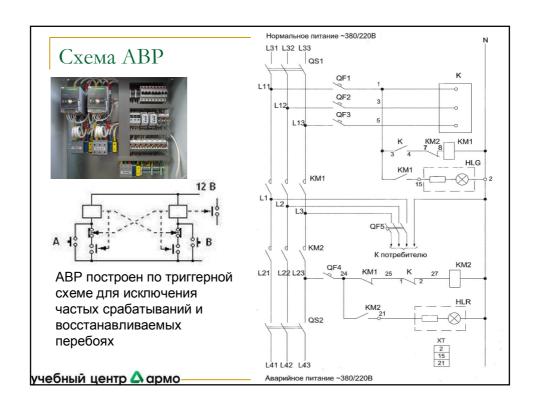


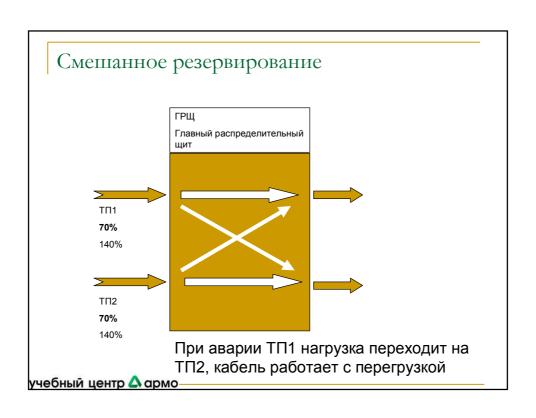












# Вопросы



учебный центр 🛆 армо-

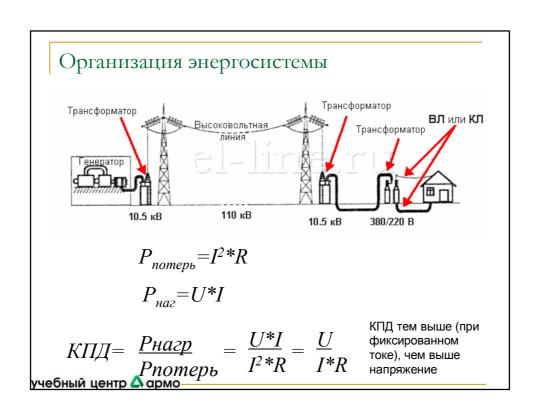
# Вопросы

- В чем преимущество трехфазного тока?
- Что такое линейное напряжение?
- Что такое фазное напряжение?
- На какое минимальное напряжение пробоя должен быть рассчитан кабель для сети 0,4кВ?
- Что такое однолинейная схема?
- Что указывают на однолинейной схеме низковольтного щита?

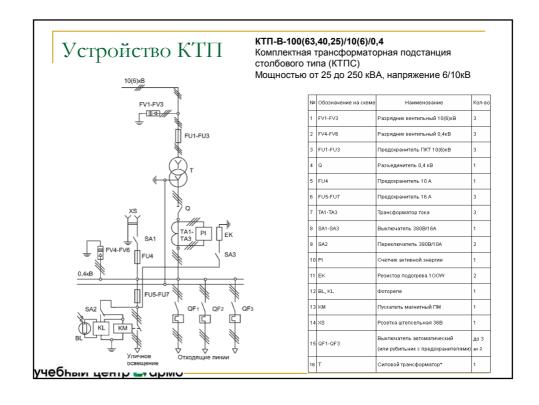
учебный центр 🛆 армо----

# Общая и специальная электротехника

Часть 12. Высоковольтные системы









# Общая электротехника Часть 13. Системы защиты

### Защита автоматами

Автоматические выключатели прежде всего обеспечивают защиту самой сети от:

- Перенапряжений
- Короткого замыкания

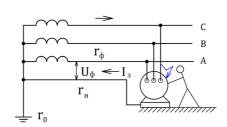
Для защиты людей и оборудования от поражения электрическим током существуют системы:

- Зануления
- Защитного заземления
- Выравнивания потенциалов
- Молниезащиты

учебный центр 🛆 армо-

### Защитное зануление

 Зануле́ние — это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок, не находящихся в нормальном состоянии под напряжением, с глухозаземлённой нейтральной точкой генератора выполняемое в целях электробезопасности.



Если напряжение (фазовый провод) попадает на соединённый с нулем металлический корпус прибора, происходит короткое замыкание. Сила тока в цепи при этом увеличивается до очень больших величин, что вызывает быстрое срабатывание аппаратов защиты (автоматические выключатели, плавкие предохранители), которые отключают линию, питающую неисправный прибор.

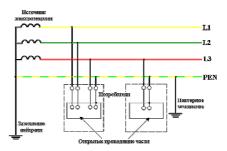
ПУЭ регламентируют время автоматического отключения сети 380/220 не более 0,4 с.

Зануление осуществляется специально предназначенными для этого проводниками. При однофазной проводке — это, например, третья жила провода или кабеля (желто-зеленая).

Различают зануление систем TN-C, TN-C-S и TN-S учебный центр Стрмо

### Система зануления ТN-С

- Проводник N (нейтраль) и нулевой защитный PE совмещены на всей своей длине.
- Совместный проводник обозначается аббревиатурой PEN.
- Через защитный проводник течет ток нейтрали
- Паразитные токи уравнивания потенциалов текут через защитный проводник

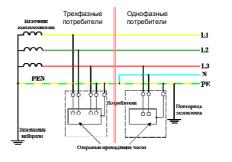


- 1. Высокие требования к сечению PEN
- 2. Высокие требования к контактному сопротивлению
- 3. Высокие требования к уравниванию потенциалов

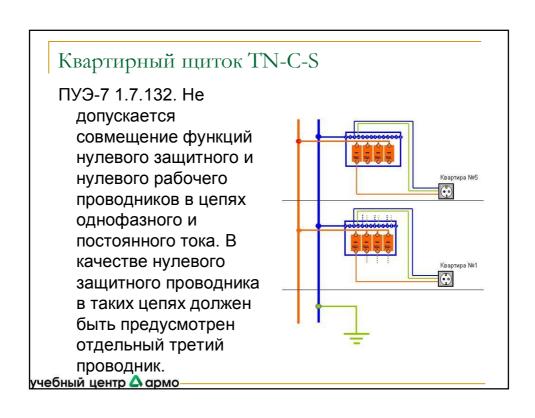
учебный центр 🛆 армо-

### Система зануления ТN-С-S

- PEN-проводник соединён с глухозаземленной нейтралью питающего электроустановку генератора
- В точке, где трёхфазная линия разветвляется на однофазные потребители (например в этажном щите многоквартирного дома или в подвале такого дома) PENпроводник разделяется на PE- и N-проводники

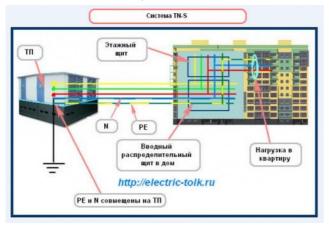


учебный центр 🛆 армо—



# Наиболее совершенная, дорогая и безопасная система зануления. Нулевой защитный и нулевой проводники разделены на всей своей длине вплоть до контура заземления учебный центр △ армо

# Система зануления TN-S



Иногда ошибочно считают, что заземление на отдельный контур, не связанный с нулевым проводом сети, лучше, потому что при этом нет сопротивления длинного PEN-проводника от электроустановки потребителя до заземлителя КТП. Такое мнение ошибочно, потому что сопротивление заземления, особенно кустарного, гораздо больше сопротивления даже длинного провода. И при замыкании фазы на заземлённый таким образом корпус электроприбора ток замыкания из-за большого сопротивления местного заземления может оказаться недостаточным для срабатывания АВ (автоматического выключателя) или предохранителя, защищающего эту линию.

учебный центр 🛆 армо

### Естественное заземление

- К естественному заземлению принято относить те конструкции, строение которых предусматривает постоянное нахождение в земле. Однако, поскольку их сопротивление ничем не регулируется и к значению их сопротивления не предъявляется никаких требований, конструкции естественного заземления нельзя использовать в качестве заземления электроустановки.
- К естественным заземлителям относят, например, трубы.



Схема на рисунке выше — это не заземление, а выравнивание потенциалов. В ней потенциал с трубы стекает на землю, а не наоборот!

учебный центр 🛆 армо—

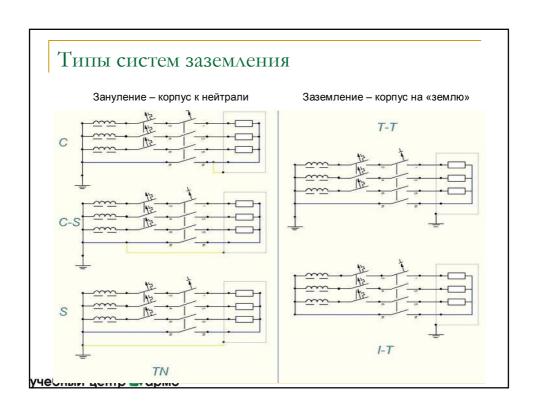
# Искусственное заземление

- Искусственное заземление это преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки электрической сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.
- Заземляющее устройство (ЗУ) состоит из заземлителя (проводящей части или совокупности соединённых между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землёй непосредственно или через промежуточную проводящую среду) и заземляющего проводника, соединяющего заземляемую часть (точку) с заземлителем.
- Заземлитель может быть простым металлическим стержнем (чаще всего стальным, реже медным) или сложным комплексом элементов специальной формы.



учебный центр 🛆 армо-

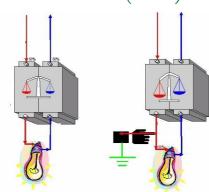
### Искусственное заземление Искусственное заземление — это Качество Пеновоздушная подушка заземления определяется значения сопротивления Труба для заливки раствора значением сопротивления заземления / сопротивления растеканию тока (чем ниже, тем лучше), которое можно снизить, увеличивая площадь заземляющих 0,5-0,7 /X/X/X/X/ Теплоизолятов алые породы электродов и уменьшая удельное электрическое удельное электрическое сопротивление грунта: увеличивая количество заземляющих электродов и/или их глубину; повышая концентрацию солей в вода заземлител грунте, нагревая его и т. д. Тонкоди сперсини грунт Электрическое Электрическое сопротивление заземляющего устройства различно для разных условий и определяется/нормируется требованиями ПУЭ и соответствующих Мерэлые породы Тело заземлителя (труба о перфорацием) стандартов. учебный центр 🛆 армо-





### Устройство защитного отключения (УЗО)

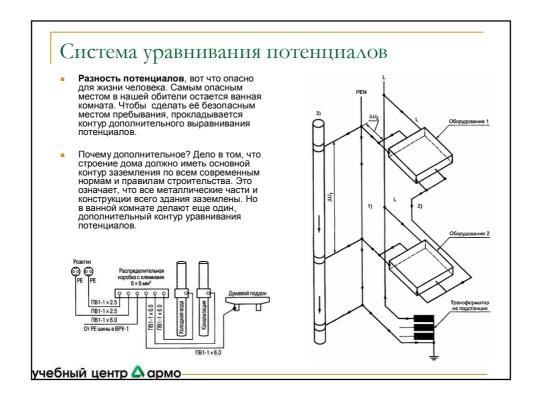
- УЗО измеряет разность между втекающим и вытекающим токами
- При неравенстве втекающего и вытекающего тока есть вероятность того, что часть тока протекает через нарушенную защиту



учебный центр 🛆 армо-











### Молниезащита

- Молниеотвод устройство, устанавливаемое на зданиях и сооружениях и служащее для защиты от удара молнии. В быту также употребляется некорректное, но более благозвучное «громоотвод».
- Во время грозы на Земле
  появляются большие
  индуцированные заряды и у
  поверхности Земли возникает
  сильное электрическое поле.
  Напряжённость поля особенно
  велика возле острых
  проводников, и поэтому на конце
  молниеотвода зажигается
  коронный разряд. Вследствие
  этого индуцированные заряды не
  могут накапливаться на здании и
  молнии не происходит.
- В тех же случаях, когда молния всё же возникает (такие случаи очень редки), она ударяет в молниеотвод и заряды уходят в Землю, не причиняя разрушений.



учебный центр 🛆 армо-

# Молниезащита промышленных зданий

Молниезащита промышленных зданий разрабатывается исходя из типа опасного воздействия, возникающего при электрическом разряде молнии:

### Прямой удар

Опасен термическим и механическим разрушением здания.

### Вторичное воздействие

Характеризуется образованием электрических токов в замкнутых токопроводящих системах здания (электропроводке, трубопроводе и пр.). Возникающие при этом искры и нагрев метаплоконструкций могут спровоцировать пожар или взрыв.

### Занос высоких потенциалов

Процесс переноса электрических потенциалов, возникших при ударе молнии, по внешним металлоконструкциям (трубопроводам) в защищаемое здание. Может привести к пожару, взрыву, выходу из строя электрооборудования.



учебный центр 🛆 армо-

# Вопросы



учебный центр 🛆 армо

### Вопросы

- Каков принцип действия защитного зануления?
- Для чего нужна система выравнивания потенциалов?
- В каком месте соединяются нулевой провод и провод заземления?
- Как работает дифференциальные автомат?
- Как работает система молниезащиты?

учебный центр 🛆 армо-----

