



Институт энергетики,  
информационных технологий  
и управляющих систем

# Релейная защита и автоматика систем электрообеспечения

Практическое занятие. Теоретическая часть

## Релейная защита и автоматика в распределительных сетях 0,4 кВ

Составил: Кузнецов Д. Б.

## 1. Общие положения.



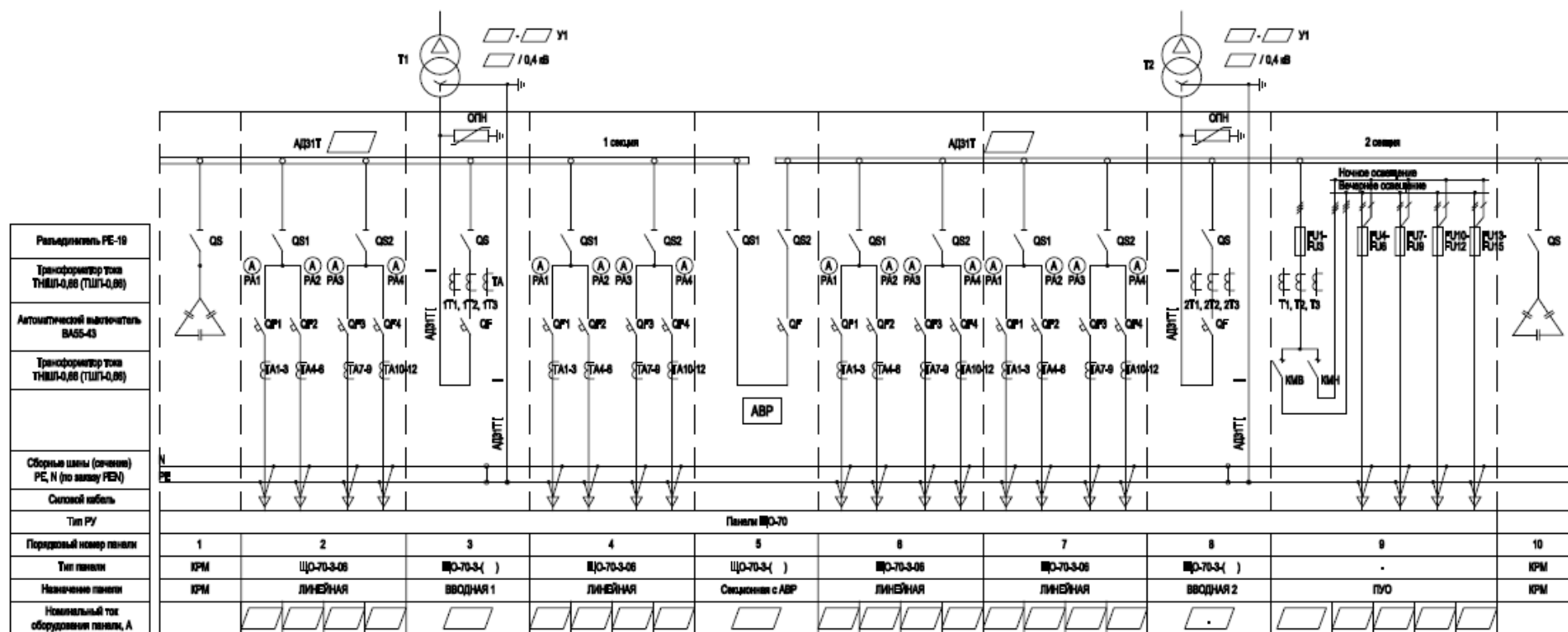
[www.oborudunion.ru](http://www.oborudunion.ru)

Щиты серии ЩО-70 с автоматическими выключателями

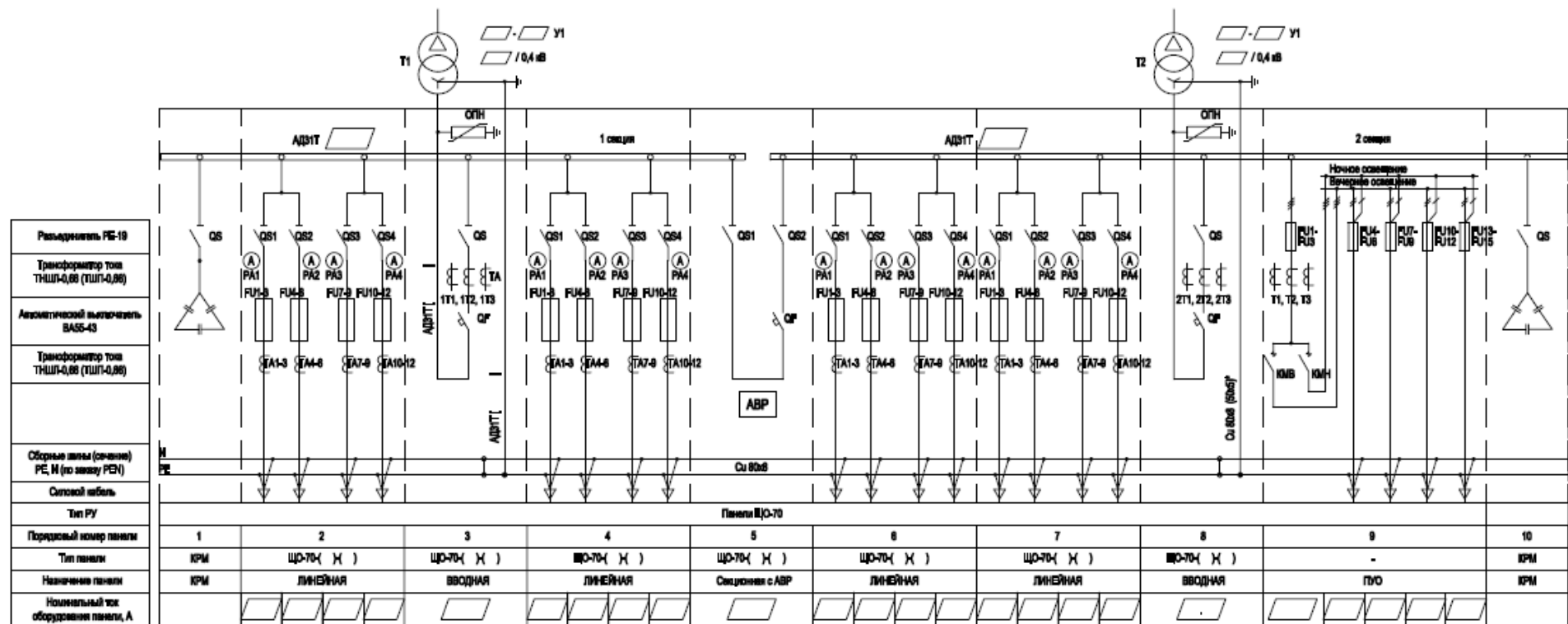


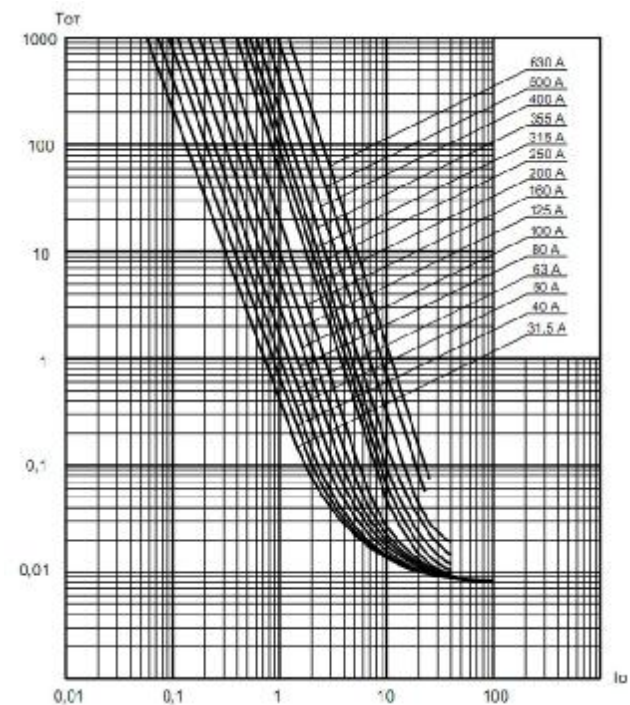
Панели серии ЩО-70 с предохранителями

# РУНН - 0,4 кВ с автоматическими выключателями



# РУНН - 0,4 кВ. Защита фидеров предохранителями

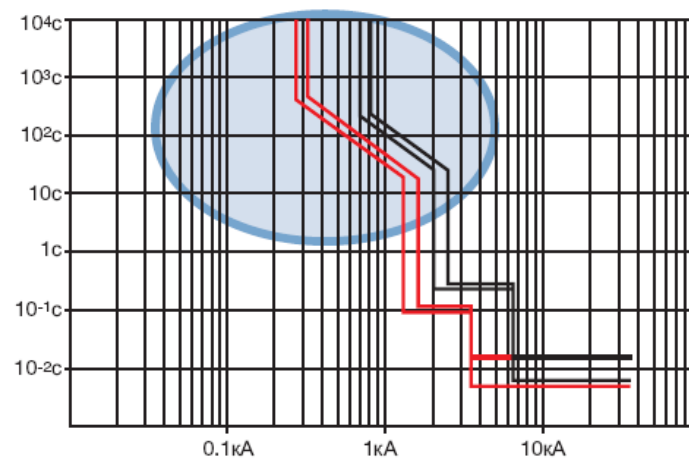




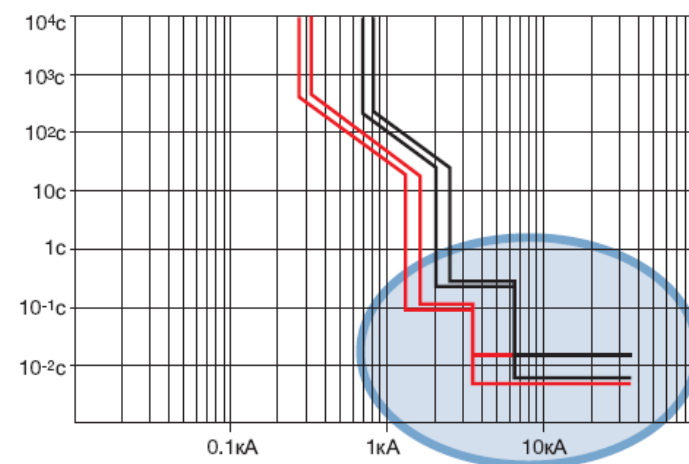
Предохранители серии ПН-2



**Зона перегрузки =  $I \div 8-10I_n$**



**Зона КЗ =  $> 8-10I_n$**



Автоматические выключатели и их характеристики отключения



## 2. Автоматические выключатели.

Предназначены для оперативных включений и отключений низковольтных электрических цепей, защиты их от токов короткого замыкания и перегрузок, а также от исчезновения или понижения напряжения.





## Определение расцепителя.

Расцепители разделим на две условные группы:

- расцепители для защиты цепей;
- расцепители выполняющие вспомогательные функции.

Расцепителем (первая группа), применительно к автоматическому выключателю, называется *устройство способное распознавать критическую ситуацию (появление сверхтока) и заблаговременно пресекать её развитие (отключать выключатель)*. Во вторую группу расцепителей можно выделить дополнительные устройства (ими не комплектуют базовые исполнения автоматов, а снабжают лишь заказные исполнения):

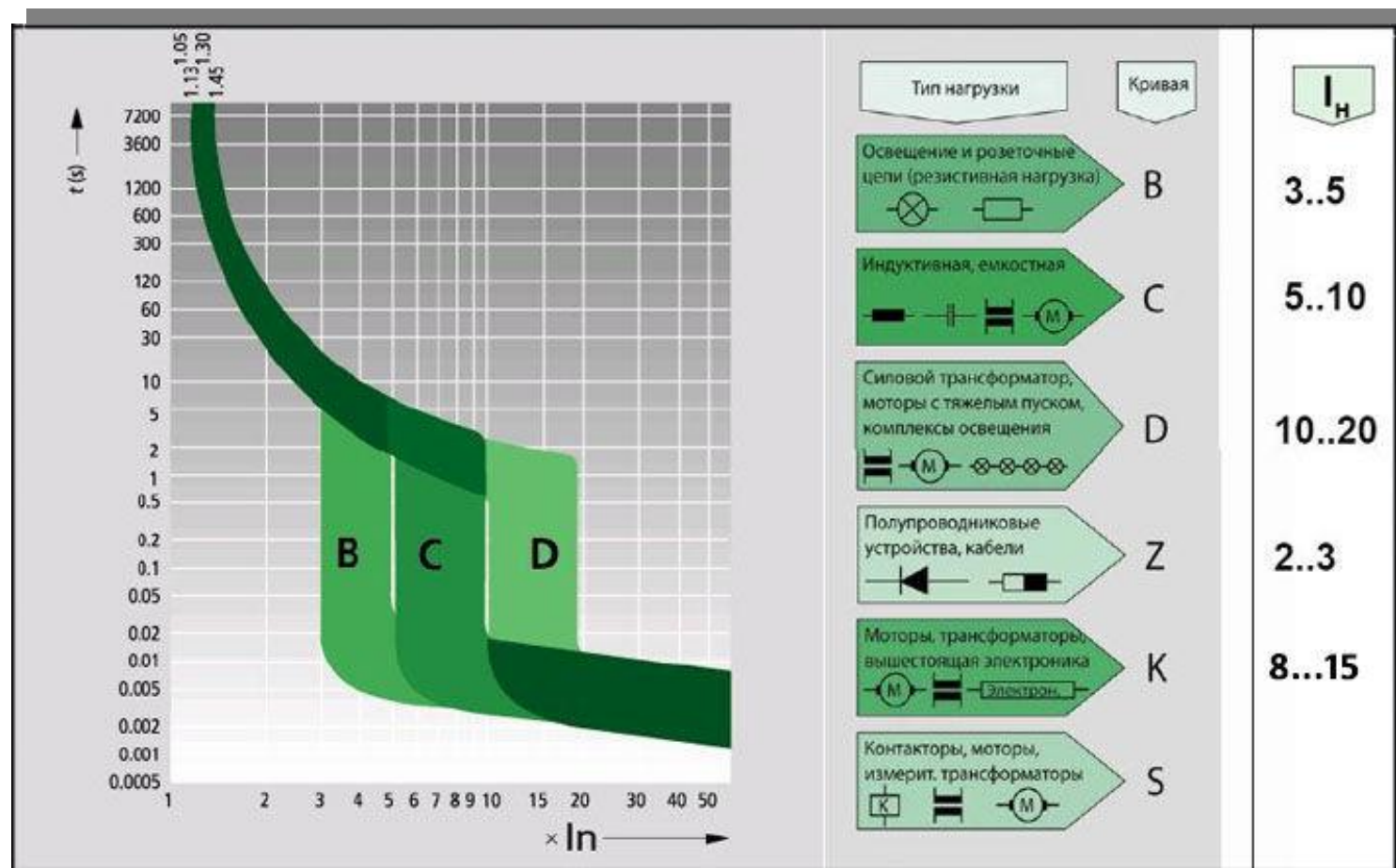
- независимый расцепитель (дистанционное отключение автоматического выключателя по сигналу из вспомогательной цепи);
- расцепитель минимального напряжения (отключает автомат при падении напряжения ниже допустимого);

Через главные контакты в автоматическом выключателе при нормальной эксплуатации протекает номинальный ток. Механизм свободного расцепления коммутационного аппарата имеет чувствительные элементы (например, поворотная отключающая рейка). Воздействие расцепителя на эти элементы способствует мгновенному автоматическому срабатыванию, то есть расцеплению контактной системы.

Характеристики отключения АВ показывают зависимость время отключения от величины протекающего тока.

В зависимости от величины тока, при котором автоматический выключатель отключиться без выдержки времени различают следующие типы, которые обозначаются латинскими буквами В, С, D, К, Z.

Характеристика Z – АВ отключается мгновенно при токе  $(2-3)I_n$ ,  $I_n$  – номинальный ток АВ. Применяется для подключения электронных устройств



Характеристика В – АВ отключается мгновенно при токе (3-5)I<sub>н</sub>.

Применяется для осветительных сетей общего назначения

Характеристика С – АВ отключается мгновенно при токе (5-10)I<sub>н</sub>.

Применяется в сетях со смешанной нагрузкой, электродвигатели с небольшими пусковыми токами.

Характеристика К – АВ отключается мгновенно при токе (10-15) I<sub>н</sub>.

Применяется для подключения индуктивных нагрузок, трансформаторы, электродвигатели.

Характеристика D – АВ отключается мгновенно при токе (10-20)I<sub>н</sub>.

Применяется для подключения трансформаторов и электродвигателей с большими пусковыми токами.

### **Выбор автоматических выключателей.**

Автоматические выключатели следует выбирать по следующим критериям:

*По номинальному напряжению.*

Номинальное напряжение АВ U<sub>н</sub> должно соответствовать напряжению сети U<sub>с</sub>;

$U_n \geq U_c$ ;

*По номинальному току.*

Номинальный ток расцепителя АВ I<sub>нр</sub> должен быть больше расчетного тока защищаемой им линии I<sub>рл</sub>;

$I_{нр} > I_{рл}$ ;

При выборе аппаратов защиты в силовых и осветительных сетях следует вводить повышающие коэффициенты!

Линии к электроприемникам:

$-I_{np} \geq 1,2 I_{рл}$ ,  $I_{рл}$  – расчетный ток линии;

В зависимости от типов подключаемых нагрузок необходимо учитывать характеристику отключения АВ - В, С, D, L, К, которые описаны выше.

*По отключающей способности*

При выборе АВ следует учитывать максимальное значения тока короткого замыкания (к.з.), которое способен отключить АВ.

Современные АВ выпускаются со следующими значениями отключающей способности  $I_{cu}$ : 3кА, 4,5кА, 6кА, 10кА, 25кА и выше.

*По числу полюсов*

В зависимости от подключаемой нагрузки и места установки АВ различают однополюсные 1Р, двухполюсные 2Р, трехполюсные 3Р, четырехполюсные 4Р автоматические выключатели.



Однополюсный 1Р АВ выбирается для защиты однофазной, двухпроводной или трехпроводной электропроводки.

В этом случае однополюсный автомат защищает только фазный провод, тогда как провод нейтрали проводки заводится на нулевую шину в обход автомата, так же как провод заземления подключается к шине заземления, так же в обход однополюсного автоматического выключателя.

Известно, что в некоторых случаях однополюсный АВ применяют в качестве вводного, что не правильно, так как при его отключении разрывается только линия фазы, а линия нейтрали остается соединенной с источником напряжения, что не может гарантировать 100% электрозащиты.



Двухполюсный 2Р автоматический выключатель выбирается в случае необходимости полного отключения электропроводки от источника напряжения.

Обычно двухполюсный автомат выбирают при необходимости использовать его как вводный автомат, при отключении которого все электропроводка оказывается обесточенной, что позволяет проводить работы по ремонту и модернизации цепей защиты и электропроводки безопасно.



Выбор трехполюсного 3P автомата нужен там, где защищаемой цепью автомата является трехфазная трехпроводная или четырехпроводная электропроводка.

Кроме того, выбор трехполюсника нужен при использовании его как вводного автомата трехфазной электропроводки и как общего выключателя для трехфазной нагрузки, например электродвигателя насоса.



Выбор четырехполюсного 4P АВ производится при необходимости защиты трехфазной четырехпроводной электросети и для защиты трехфазной нагрузки, например электродвигателя, подключенного по схеме звезда со средним проводом.

При необходимости вводного автомата на трехфазную четырехпроводную электропроводку выбирается автомат четырехполюсный.

### 3. Расчет однофазных коротких замыканий в сетях 0,4 кВ.

Приближенный метод определения тока однофазного КЗ

при большой мощности питающей энергосистемы ( $X_c < 0,1X_t$ ), рассчитывается по формуле :

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_t}{3} + Z_{пт}}$$

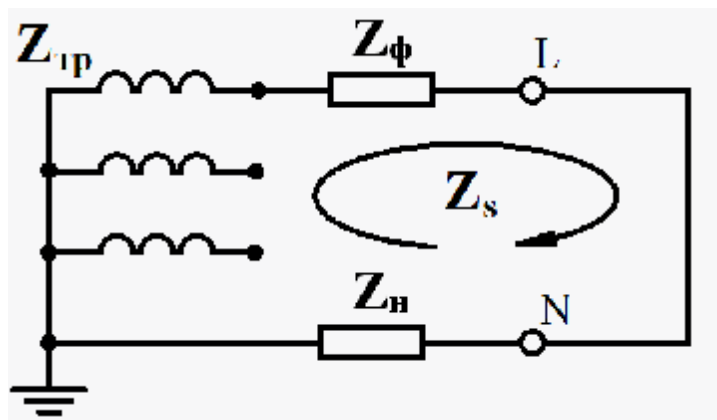
где:

- $U_\phi$  – фазное напряжение сети, В;
- $Z_t$  – полное сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус, Ом;
- $Z_{пт}$  – полное сопротивление петли фаза-нуль от трансформатора до точки КЗ, Ом;

*Что такое петля «фаза-нуль»? В электроустановках до 1000 В, с заземлением нейтрали (TN-C, TN-C-S, TN-S), нулевой провод соединен с нейтралью трансформатора, которая при этом присоединена к контуру заземления, то есть глухо заземлена. И если замкнуть фазный провод на*



корпус электрооборудования или нулевой провод, то образуется контур, состоящий из электрической цепи фазного и нулевого проводников. Такой контур принято называть петлей «фаза-нуль» (см. рисунок).



Если же питающая энергосистема имеет ограниченную мощность, то тогда ток однофазного кз определяется по формуле:

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_\Sigma}{3} + Z_{\text{пр}}}$$

Значение  $Z_\Sigma$  определяется по таблице или можно определить по формуле:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(x_{1T} + x_{2T} + x_{0T} + 2x_c)^2 + (r_{1T} + r_{2T} + r_{0T} + 2r_c)^2}$$

где:

$x_{1T}$  и  $r_{1T}$ ;  $x_{2T}$  и  $r_{2T}$ ;  $x_{0T}$  и  $r_{0T}$  - индуктивное и активное сопротивления трансформатора токам прямой, обратной и нулевой последовательности, мОм.

Принимаются по таблице:

$S_{ном},$ кВА	Уном обмоток ВН, кВ	Сопротивления трансформаторов $Z(1)_T$ , мОм	
		Y/Y11	Д/У11 и У/З11,
25	6...10	3110	910
40	6... 10	1950	560
63	6...10	1240	360
100	6...10	800	230
160	6... 10	490	140
250	6...10	310	90
400	6... 10	190	60
630	6...10	130	40
1000	6...10	80	30
1600	6... 10	50	20

Значение  $Z_T$  для различных трансформаторов с вторичным напряжением 400/230 В, можно принять по таблице:

Сопротивления контактов шин, аппаратов, трансформаторов тока в данном методе не учитываются, поскольку арифметическая сумма  $Z_T/3$  и  $Z_{пт}$  создает некоторый запас.

Полное сопротивление трансформатора  $Z_T$ , определяется по формуле 2-24 [ЛЗ, с 39]:

$$Z_{T(0)} = \sqrt{(x_{1T} + x_{2T} + x_{0T})^2 + (r_{1T} + r_{2T} + r_{0T})^2}$$

Полное сопротивление петли фаза-нуль, определяется по формуле:

$$Z_{пт} = Z_{пт.уд.1} \cdot l_1 + Z_{пт.уд.2} \cdot l_2 + \dots$$

где:

- $Z_{пт.уд.}$  – полное удельное сопротивление петли фаза-нуль для каждого участка от трансформатора до места КЗ, мОм/м;

Полное удельное сопротивление  $z_{пт.уд}$  петли фаза-нуль для кабеля или пучка проводов с алюминиевыми жилами при температуре жилы 65°C, мОм/м [29]

Сечение фазного провода, мм²	Значение $z_{пт.уд}$ мОм/м при сечении нулевого провода, мм², равном										
	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
2,5	29,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	24,08	18,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	15,43	12,34	9,88	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	9,88	7,41	5,92	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	5,92	4,43	3,7	3,35	-	-	-	-
25	-	-	-	5,19	3,7	2,96	2,54	2,22	-	-	-
35	-	-	-	4,77	3,35	2,54	2,12	1,8	1,59	-	-
50	-	-	-	-	3,06	2,22	1,8	1,48	1,27	1,13	-
70	-	-	-	-	-	2,01	1,59	1,27	1,06	0,92	-
95	-	-	-	-	-	-	1,45	1,13	0,92	0,78	-
120	-	-	-	-	-	-	1,37	1,05	0,84	0,7	0,62
150	-	-	-	-	-	-	-	0,99	0,82	0,67	0,52
185	-	-	-	-	-	-	-	0,95	0,73	0,59	0,51

Примечание. При применении кабелей с медными жилами табличные значения  $z_{пт.уд}$  уменьшить в 1,7 раза.

Таблица 2.11

Полное удельное сопротивление  $z_{пт.уд}$  петли фаза-алюминиевая оболочка трехжильных кабелей с бумажной изоляцией (без нулевой жилы), мОм/м [29]

Число и сечение жил, мм²	Значение $z_{пт.уд}$ для кабелей			
	Медных АГ, АБ	Алюминиевых ААГ, ААБ	Медных АШв	Алюминиевых ААШв
3х6	5,02	7,71	4,98	7,67
3х10	3,33	4,95	3,31	4,92
2х16	2,35	3,36	2,31	3,33
3х25	1,81	2,46	1,79	2,44
3х35	1,39	1,85	1,37	1,83
3х50	1,09	1,42	1,07	1,4
3х70	0,84	1,07	0,83	1,06
3х95	0,67	0,84	0,66	0,83
3х120	0,57	0,71	0,56	0,7
3х150	0,42	0,53	0,44	0,54
3х185	0,36	0,45	0,36	0,45
3х240	0,31	0,37	0,29	0,36

- $l$  – длина участка, м.

Ниже представлены справочные таблицы со значениями удельного сопротивления петли фаза-нуль для различных кабелей и шинопроводов.

Полное сопротивление цепи фаза-нуль для 4-жильных кабелей  
в пластмассовой оболочке изоляцией при температуре жилы +65 °С, Ом/км

Сечение жил кабеля, мм²	Сопротивление, Ом/км					
	Материал жилы					
	Алюминий			Медь		
	r фазы	r нуля	Z цепи	r фазы	r нуля	Z цепи
4x2,5	14,75	14,75	29,5	8,73	8,73	17,46
3x4+1x2,5	9,2	14,75	23,95	5,47	8,73	14,2
4x4	9,2	9,2	18,4	5,47	5,47	10,94
3x6+1x4	6,15	9,2	15,35	3,64	5,47	9,11
4x6	6,15	6,15	12,3	3,64	3,64	7,28
3x10+1x6	3,68	6,15	9,83	2,17	3,64	5,81
4x10	3,68	3,68	7,36	2,17	2,17	4,34
3x16+1x10	2,3	3,68	5,98	1,37	2,17	3,54
4x16	2,3	2,3	4,6	1,37	1,37	2,74
3x25+1x16	1,47	2,3	3,77	0,873	1,37	2,243
4x25	1,47	1,47	2,94	0,873	0,873	1,746
4x35+1x16	1,05	2,3	3,35	0,625	1,37	1,995
4x35	1,05	1,05	2,1	0,625	0,625	1,25
3x50+1x25	0,74	1,47	2,21	0,436	0,873	1,309
4x50	0,74	0,74	1,48	0,436	0,436	0,872
3x70+1x25	0,527	1,47	1,997	0,313	0,873	1,186
3x70+1x35	0,527	1,05	1,577	0,313	0,625	0,938
4x70	0,527	0,527	1,054	0,313	0,313	0,626
3x95+1x35	0,388	1,05	1,438	0,23	0,625	0,855
3x95+1x50	0,388	0,74	1,128	0,23	0,436	0,666
4x95	0,388	0,388	0,776	0,23	0,23	0,46
3x120+1x35	0,308	1,05	1,358	0,181	0,625	0,806
3x120+1x70	0,308	0,527	0,835	0,181	0,313	0,494
4x120	0,308	0,308	0,616	0,181	0,181	0,362
3x150+1x50	0,246	0,74	0,986	0,146	0,436	0,582
4x150	0,246	0,246	0,492	0,146	0,146	0,292
3x185+1x50	0,2	0,74	0,94	0,122	0,436	0,558
4x185	0,2	0,2	0,4	0,122	0,122	0,244
4x240	0,153	0,153	0,306	0,09	0,09	0,18

Полное расчетное сопротивление цепи фаза-нуль для 3-жильных кабелей  
при использовании алюминиевой оболочки в качестве нулевого проводника,  
при температуре 80°С, Ом/км

Сечение жил кабе- ля, мм²	Сопротивление, Ом/км					
	Материал жилы					
	Алюминий			Медь		
	r фазы	r нуля	Z цепи	r фазы	r нуля	Z цепи
3x6	6,46	1,045	7,505	3,83	0,985	4,815
3x10	3,87	1,038	4,708	2,28	0,876	3,156
3x16	2,42	0,775	3,195	1,44	0,748	2,188
3x25	1,55	0,691	2,241	0,918	0,679	1,597
3x35	1,11	0,616	1,727	0,697	0,610	1,287
3x50	0,775	0,498	1,273	0,458	0,492	0,950
3x70	0,555	0,410	0,965	0,325	0,405	0,734
3x95	0,408	0,321	0,729	0,242	0,357	0,699
3x120	0,324	0,328	0,652	0,191	0,325	0,516
3x150	0,258	0,268	0,526	0,164	0,264	0,413
3x185	0,210	0,241	0,451	0,124	0,239	0,363
3x240	0,160	0,215	0,375	0,095	0,212	0,307

Полное расчетное сопротивление цепи фаза-нуль  
для 4-жильных кабелей с учетом проводимости алюминиевой оболочки

Сечение жил кабе- ля, мм²	Сопротивление, Ом/км					
	Материал жилы					
	Алюминий			Медь		
	r фазы	r нуля + оболочки	Z цепи	r фазы	r нуля + оболочки	Z цепи
3x6+1x4	6,46	0,867	7,327	3,83	0,762	4,592
3x10+1x6	3,87	0,738	4,608	2,28	0,665	2,945
3x16+1x10	2,42	0,564	2,984	1,44	0,489	1,929
3x25+1x16	1,55	0,477	2,027	0,918	0,412	1,33
3x35+1x16	1,11	0,405	1,515	0,657	0,357	1,014
3x50+1x25	0,775	0,320	1,095	0,458	0,275	0,733
3x70+1x25	0,555	0,282	0,837	0,329	0,247	0,576
3x95+1x35	0,408	0,253	0,661	0,242	0,217	0,459
3x120+1x35	0,324	0,237	0,561	0,191	0,202	0,393
3x150+1x35	0,258	0,193	0,451	0,154	0,166	0,320
3x185+1x50	0,210	0,18	0,39	0,124	0,155	0,279

На практике рекомендуется использовать приближенный метод определения тока однофазного КЗ. При таком методе, допустимая погрешность в расчете тока однофазного КЗ при неточных исходных данных в

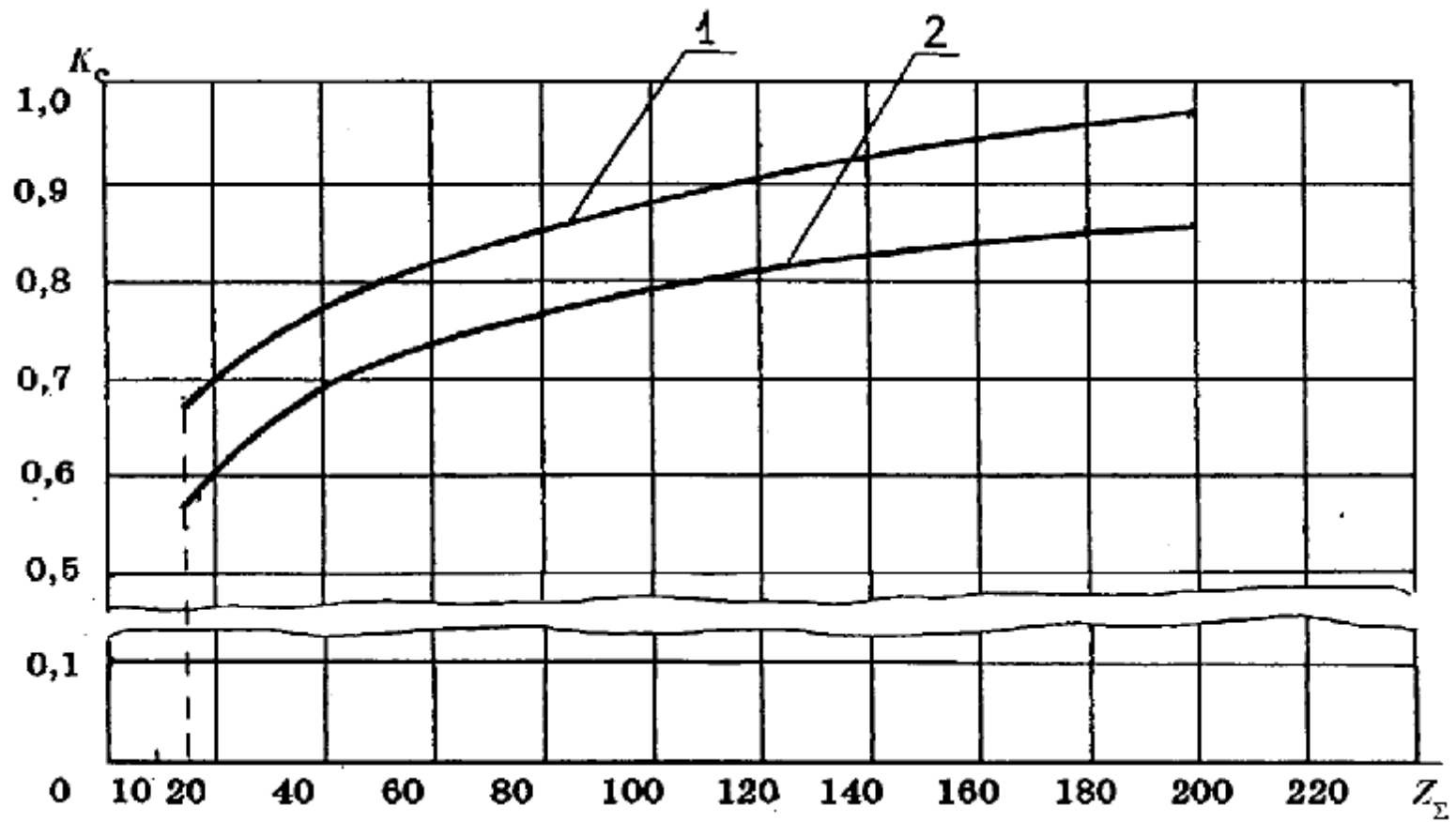
среднем равна – 10% в сторону запаса; 18-20% - при схеме соединения трансформатора Y/Y0, когда преобладает активная нагрузка и для зануления используется 4-я жила либо оболочка кабеля; 10-12% - при использовании стальных труб для зануления электропроводки.

Из выше изложенного, следует, что при использовании данного метода, создаётся не который запас при расчете, который гарантирует срабатывания защитного аппарата, согласно требованиям ПУЭ.

Наибольшая часть КЗ в сетях напряжением до 1 кВ является дуговыми короткими замыканиями. Многочисленные исследования показывают, что при дуговом КЗ ток КЗ всегда меньше тока металлического КЗ в этой же точке. Однако определить точное значение ЯД в месте КЗ не представляется возможным. Существующие методики расчетов дуговых КЗ позволяют лишь примерно оценить значение РД в месте КЗ.

Упрощенная методика расчета с помощью снижающего коэффициента  $K_c$  – получение значения коэффициентов  $K_c$  в зависимости от удаленности точки КЗ с помощью кривых  $K_c = I(Z,)$ . Эти кривые приведены на рисунке.

Кривая 1 используется для определения  $K_c$  в начальный момент дугового КЗ ( $t_{кз} < 0,05$  с), а кривая 2 используется для определения значения коэффициента  $K_c$  при установившемся дуговом КЗ ( $t_{кз} > 0,05$  с).



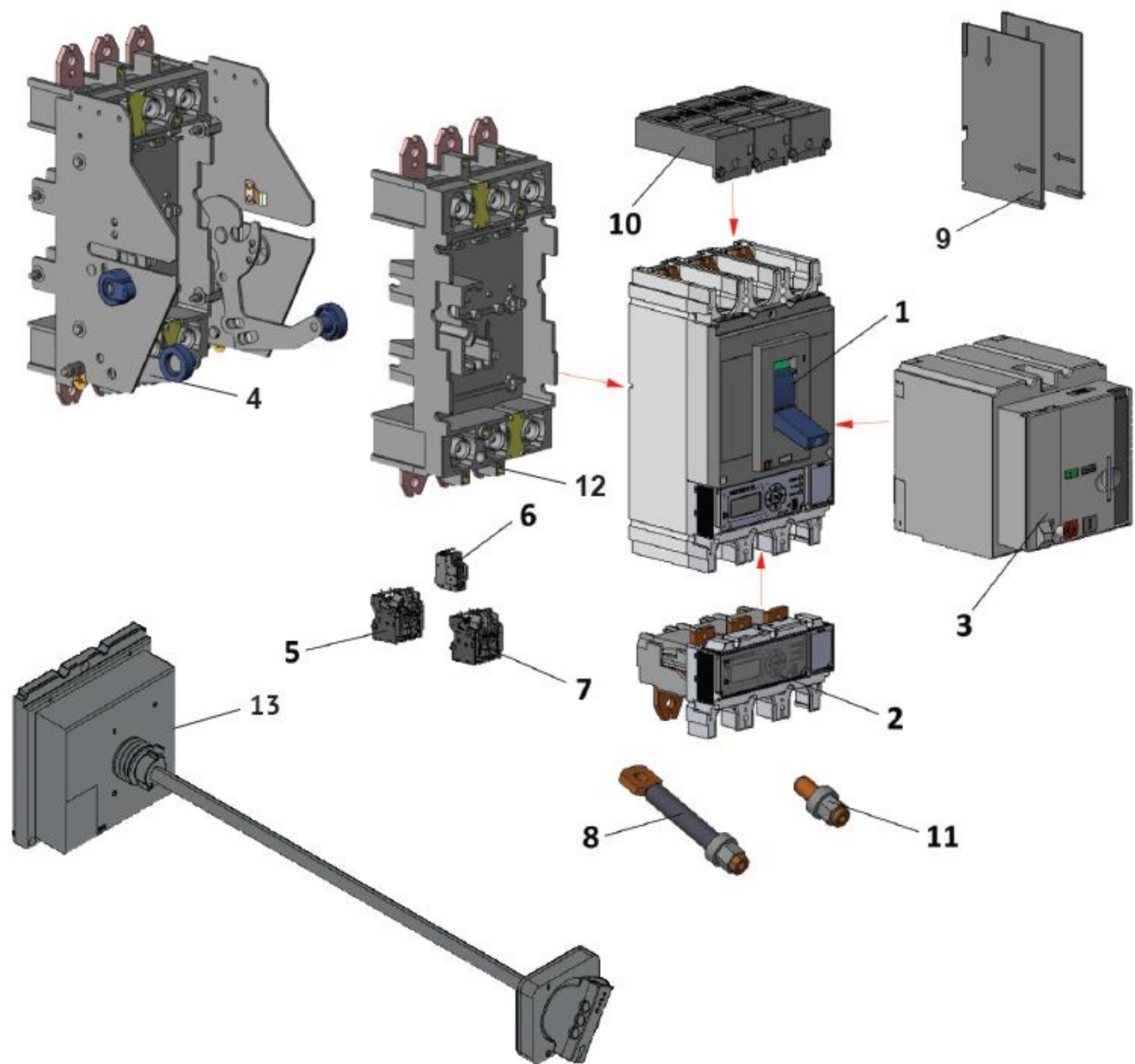
$$I_{\text{К дуг}}^{(n)} = I_{\text{К.М}}^{(n)} \cdot K_c$$

где  $n$  - вид КЗ,  $I_{\text{К.М}}$  - ток металлического КЗ, кА;  $K_c$  - снижающий коэффициент.



## Автоматические выключатели в литом корпусе и воздушные автоматические выключатели

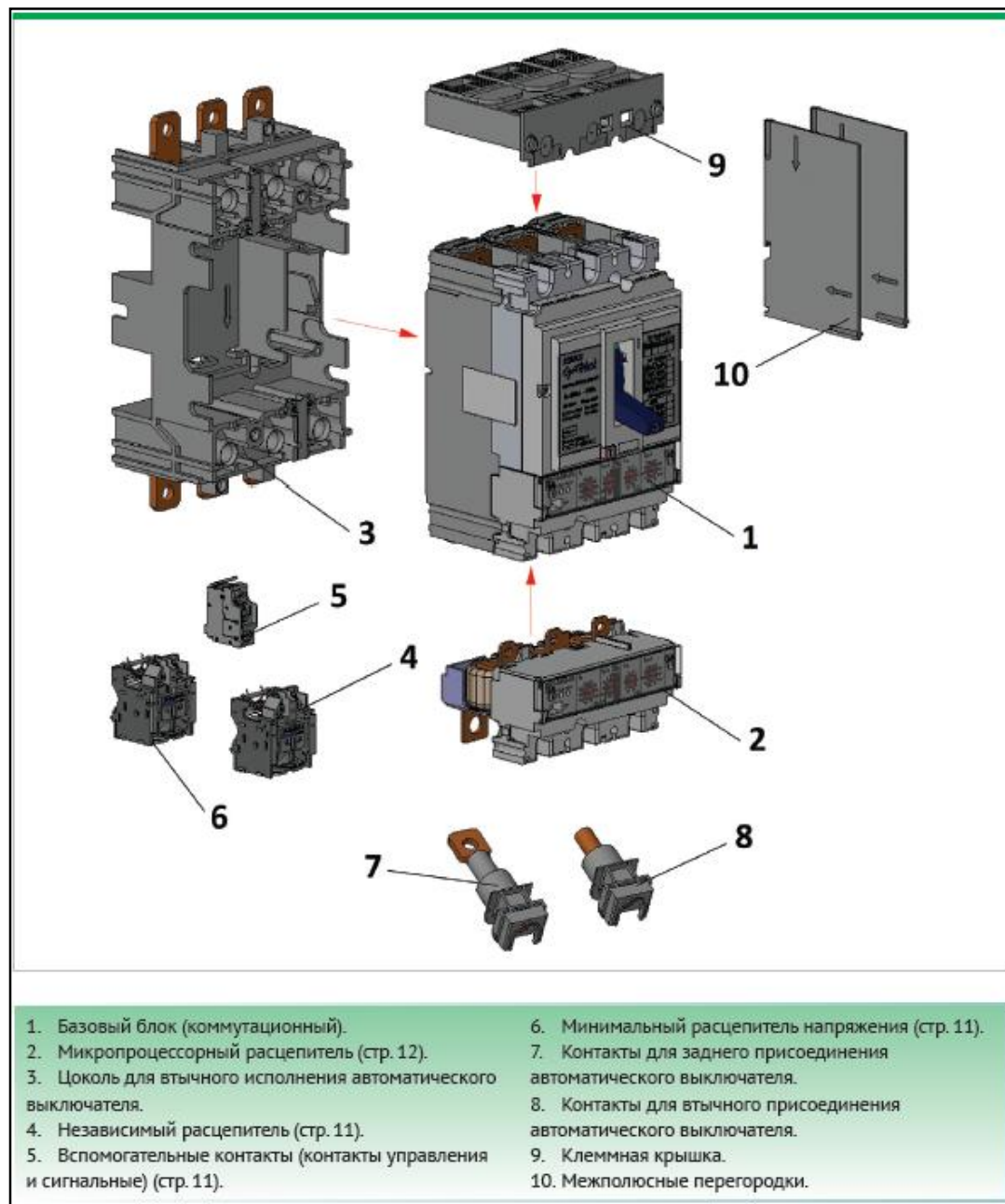




## Микропроцессорные расцепители.

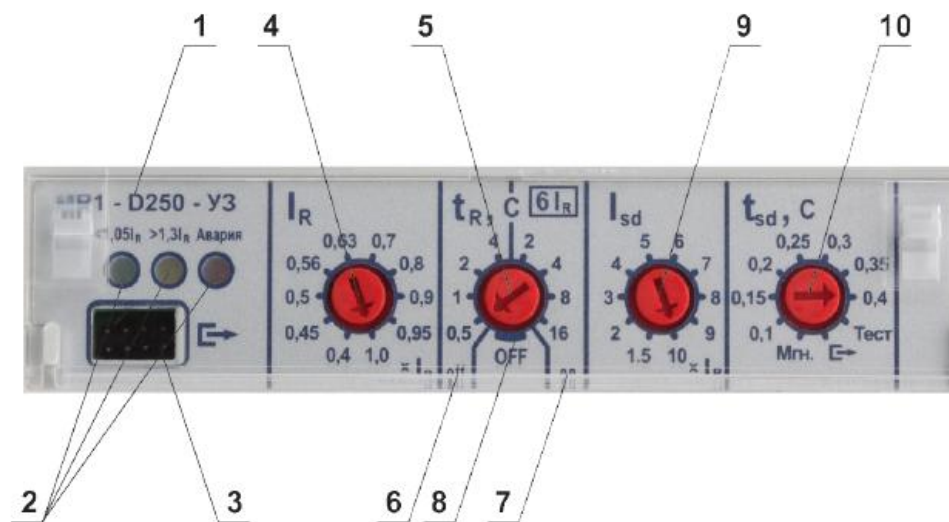
Современные автоматические выключатели могут быть оснащены микропроцессорными расцепителями.

Микропроцессорный расцепитель состоит из следующих частей: исполнительный электромагнит, измерительные устройства и блок управления расцепителем. Блок управления расцепителем позволяет выстраивать определенную пользователем программу, по которой автоматический выключатель будет производить расцепление главных контактов. Микропроцессорный расцепитель имеет преимущества по сравнению с обычным термоманитным расцепителем: разнообразный выбор настроек нужных пользователю; высокая





точность исполнения заданной программы; индикаторы работоспособности и причины срабатывания.

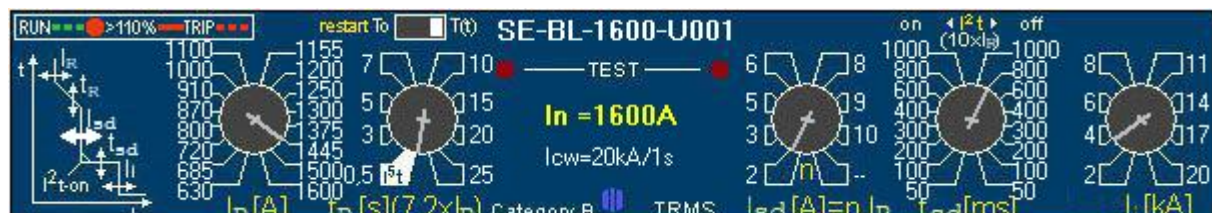


1. Маркировка
2. Цветовые индикаторы нагрузки
3. Гнездо для подключения тестирующего устройства
4. Уставка по току защиты от перегрузок
5. Уставка времени защиты от перегрузок
6. Зона уставок по времени срабатывания в зоне перегрузки без функции «тепловая память» (off)
7. Зона уставок по времени срабатывания в зоне перегрузки с функцией «тепловая память» (on)
8. Положение переключателя для отключения защиты от перегрузки
9. Уставка по току селективной токовой отсечки (только защита от коротких замыканий)
10. Уставка времени селективной токовой отсечки

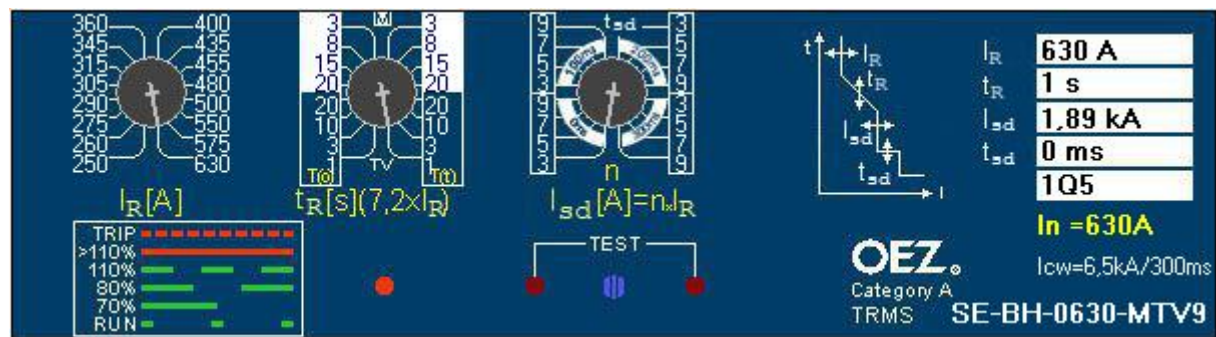
Примечание: Под «тепловой памятью» понимают программную корректировку времени срабатывания в зависимости от тока, при котором произошло отключение автоматического выключателя, и времени, прошедшего с момента отключения. «Тепловая память» является эмуляцией работы термобиметаллического расцепителя (расцепителя токов перегрузки).



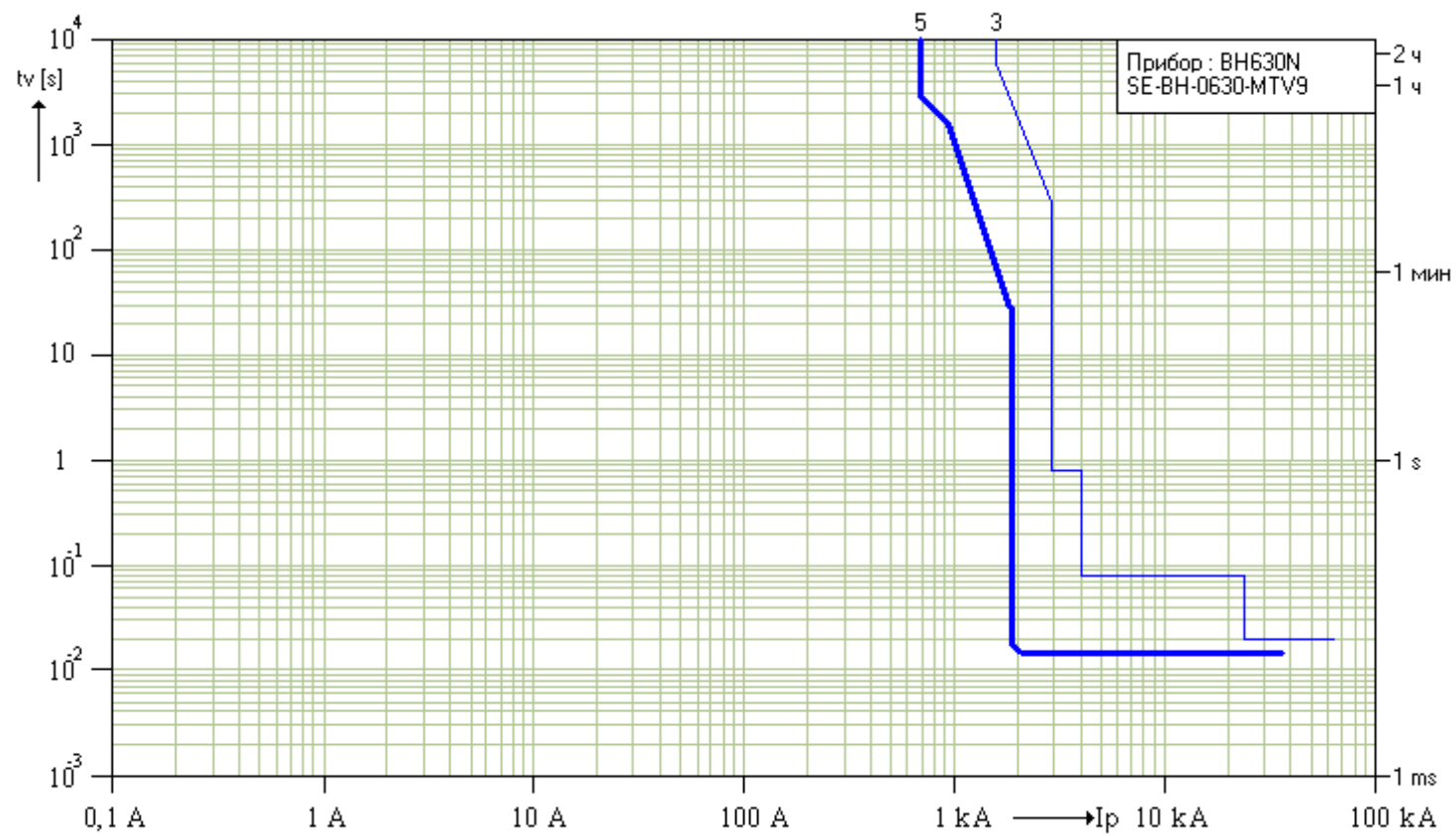
## Пример регулировки микропроцессорных расцепителей выключателей Modeon OEZ



Расцепитель вводного  
выключателя



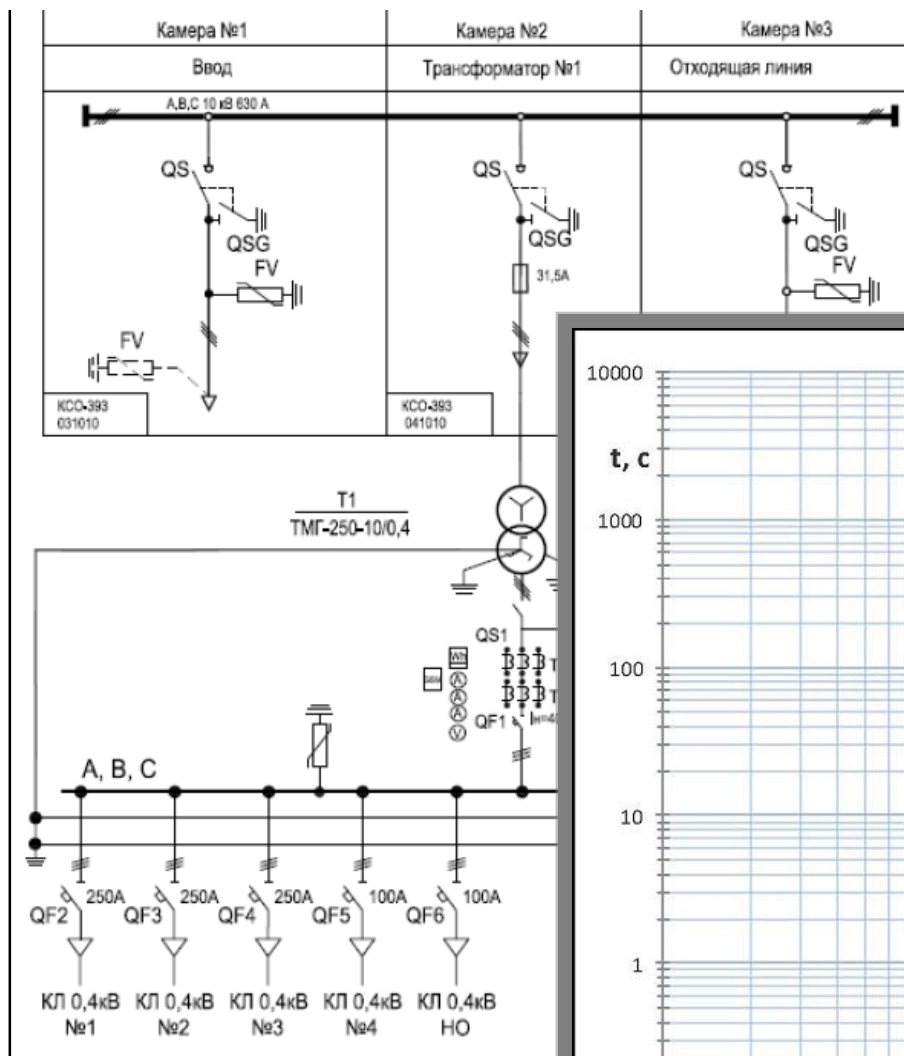
Расцепитель выключателя  
отходящего фидера



Карта селективности



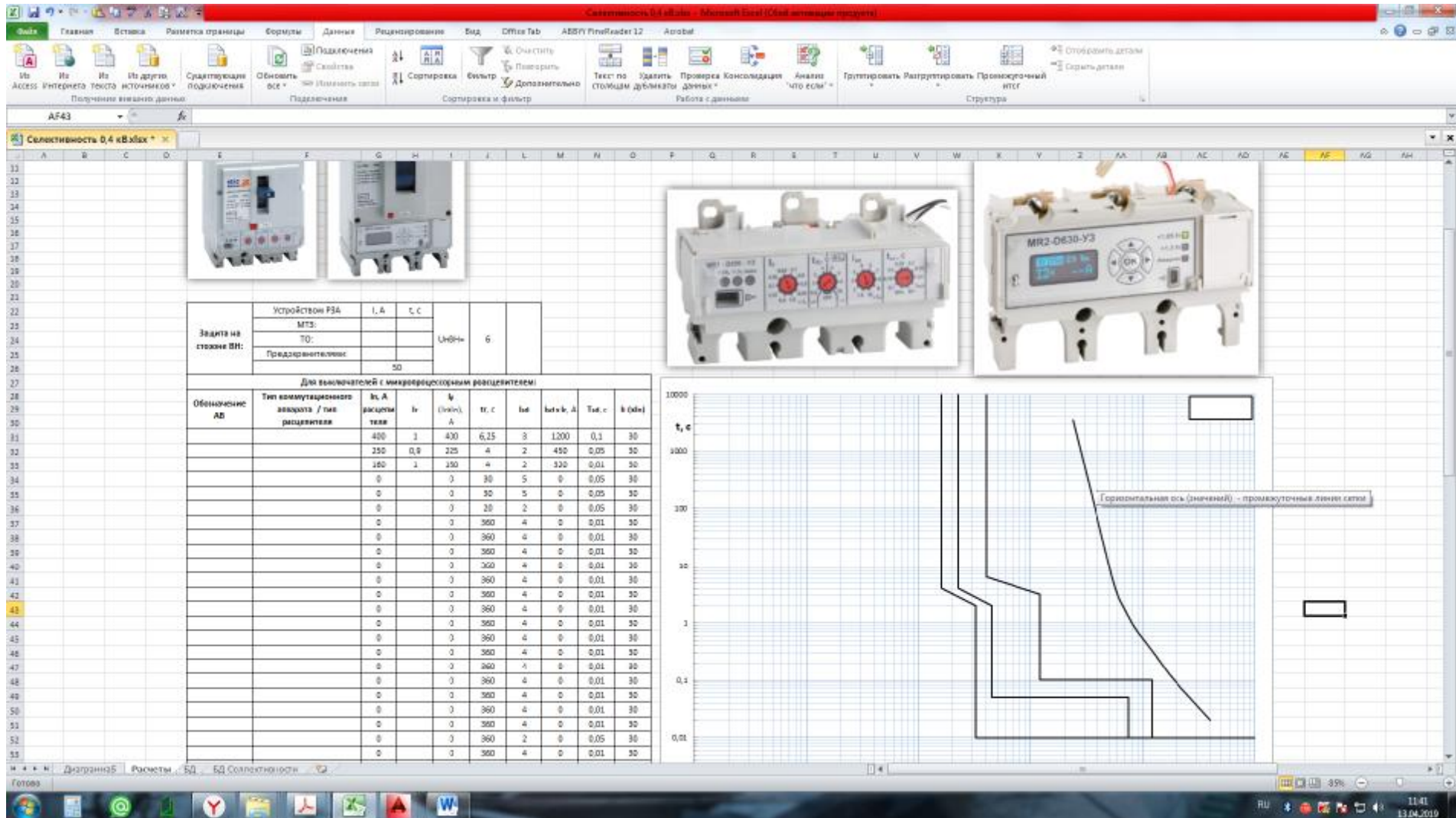
## Согласование защит с помощью карты селективности



## Использование Excel для расчета однофазных КЗ

[illegible]

## Использование Excel для выбора уставок расцепителей АВ





## Программа SICHR для расчета токов короткого замыкания на напряжение до 1000 В

Познакомимся с программой **SICHR** версии 16 от компании «**OEZ**» (**Чехия**). Отличительной особенностью данной программы от других аналогичных зарубежных программ, является поддержка русского языка, а также имеется руководство пользования программой SICHR. Последнюю версию Вы можете скачать на официальном сайте пройдя по :

<https://raschet.info/programma-sichr-dlja-rascheta-tokov-korotkogo-zamykanija-na-naprijazhenie-do-1000-v/>.



Программа расчета **SICHR** позволяет рассчитывать токи коротких замыканий в радиальных сетях TN-C, TN-C-S и IT сети во всех обычных низковольтных уровнях, она работает с элементами автоматической защиты и переключения, приборами защитного отключения и разрядниками перенапряжения продукции OEZ. Очень полезной функцией программы является оценка правильности расчета и защиты против сверхтоков силовых кабелей как с точки зрения перегрузки, так и на основании энергии пропущенной устройствами в области максимальных токов короткого замыкания. В случае

применения параллельных кабелей программа контролирует защиту и одного кабеля, если применяется общий прибор защиты. В случае неудовлетворительного результата программа предупредит о необходимости применения противопожарного покрытия или негорючей перегородки. Оценка селективности между отдельными ступенями защиты производится как на основании сравнения характеристик отключения отдельных устройств в области перегрузки, так и с помощью базы данных

проведенных испытаний селективности применяемых устройств в области токов короткого замыкания.

