

 spiritus_sancti вчера в 23:37

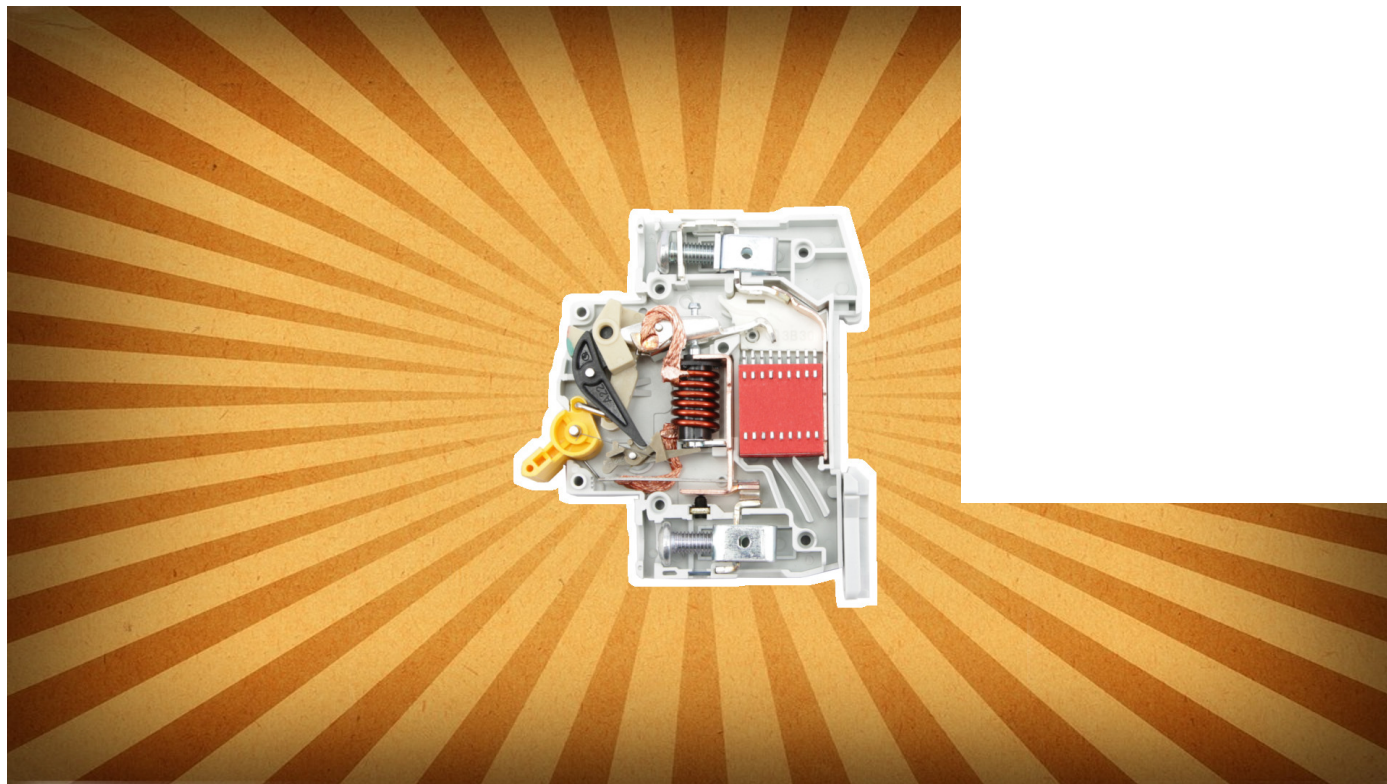
Реклама

Как не оконфузиться при выборе автоматического выключателя

Научно-популярное

Tutorial

Краткая заметка по поводу выбора автоматических выключателей. Искренне надеюсь, что нового.



У поста есть видеOVERсия на моем ютуб канале. Реалии времени заставляют меня делать делать еще и видео:

Как выбрать автоматический выключатель и не оконфузиться



Определимся с целью

Для начала нужно определиться - для чего нам автоматический выключатель в электрощите. Задача автоматического выключателя - прежде всего защитить стационарную кабельную линию от протекания токов свыше предельно допустимых. Если ток превышен - то проводники нагреваются, с плавлением и разрушением изоляции или расплавлением самих проводников. И если не случится пожара, то случится дорогостоящий ремонт, с работами по замене замурованной в стенах электропроводки. А ток может быть превышен, если к линии подключили слишком много потребителей (происходит перегрузка) или если происходит короткое замыкание. Неправильный выбор характеристик автоматического выключателя - путь к дорогостоящему ремонту, а при особенной везучести - к пожару.

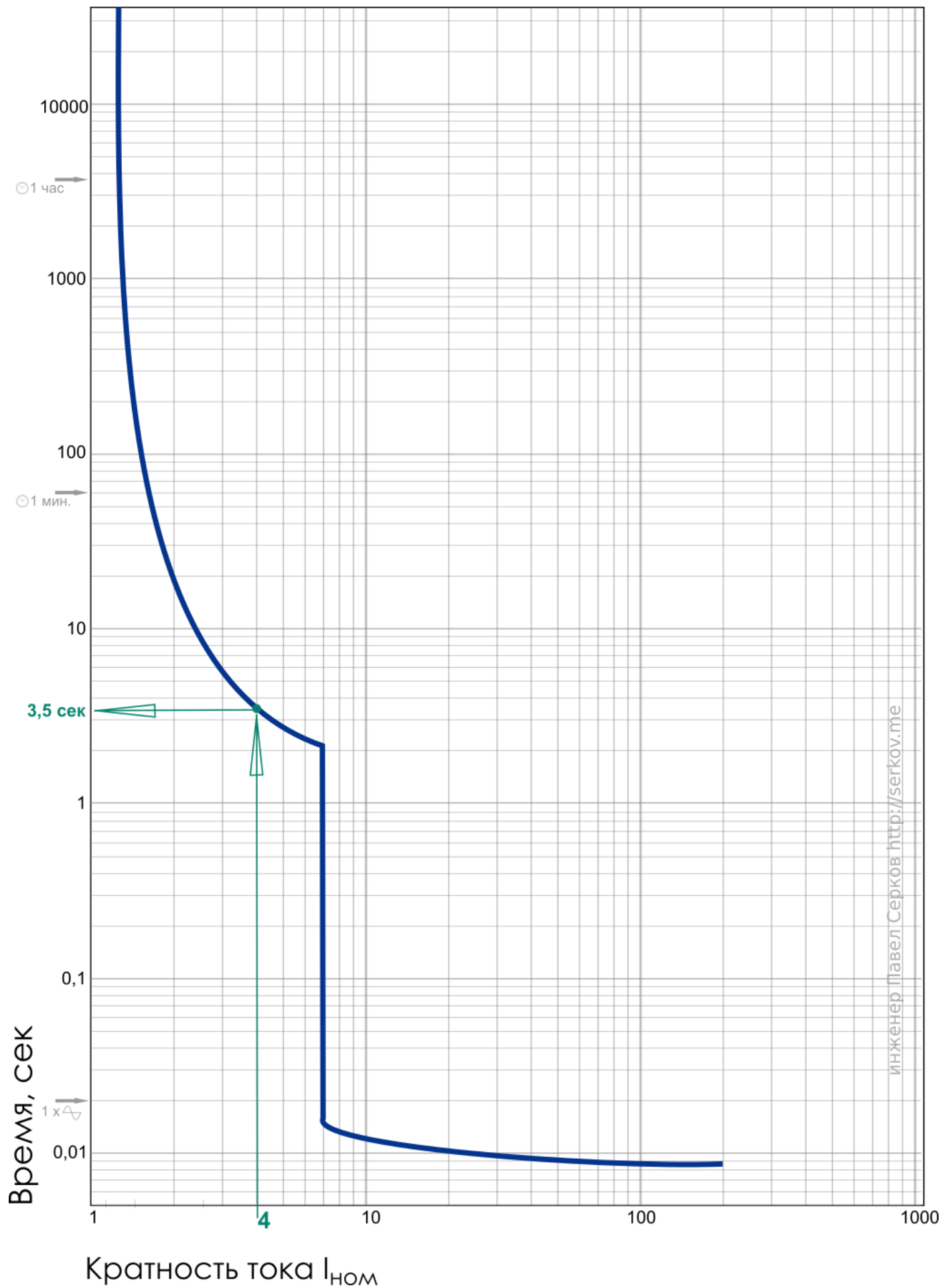
Номинальный ток.

Поняв, что автоматический выключатель должен защитить кабельную линию от протекания тока свыше допустимого, мы должны понять, какой же ток допустимый. Чаще всего ссылаются на вот эту табличку из ПУЭ (таблица 1.3.4):

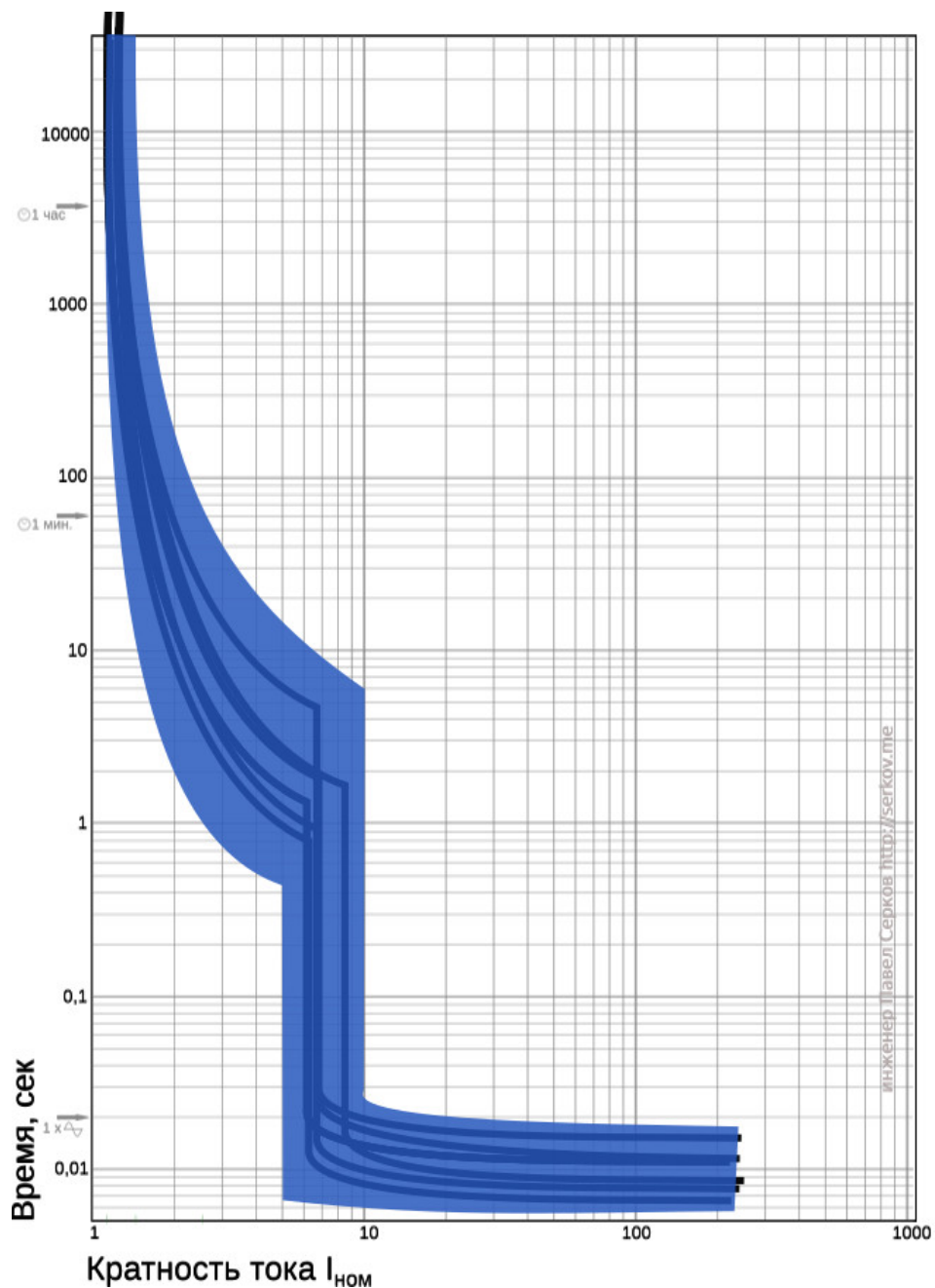
Сечение	Ток *, А, для проводов и кабелей				
токопроводящей	одножильных	двухжильных		трехжильных	
жилы, мм ²	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	–	–	–	–

Но, на мой субъективный взгляд, у этой таблички есть существенный недостаток, и он указан в источнике - эта табличка составлена для окружающей температуры +25, температуры земли +15 и температуры жилы (!!!) +65. Длительная работа изоляции при повышенной температуре ускоряет процесс старения полимеров, поэтому мое личное мнение - указанные в таблице цифры стоит уменьшить хотя бы на 1/4. Если кабель проложен таким образом, что его охлаждение затруднено, то предельно допустимый рабочий ток также уменьшают. Например если кабель расположен в пучке с другими кабелями или под слоем теплоизоляции.

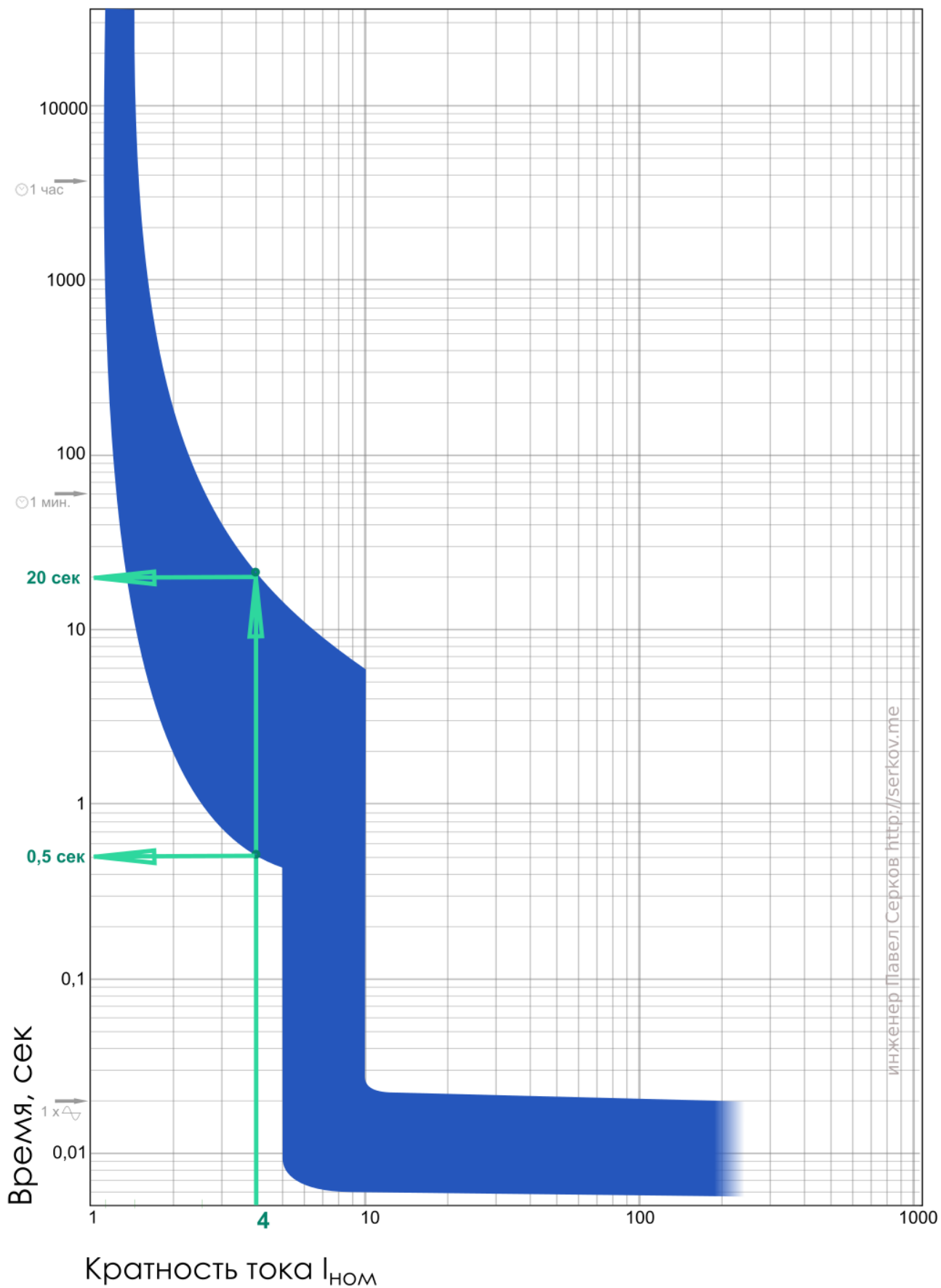
И вот в этом месте подходим к самой неочевидной вещи. В таблице указаны **предельно допустимые** токи, а на автоматических выключателях указан **номинальный** ток. Номинальный ток автоматического выключателя, указанный на нем - это ток, который может длительно проходить через автоматический выключатель и не вызывать его отключения. Для определения тока отключения заглянем в документацию, в график время-токовых характеристик:



Но это график конкретного экземпляра автоматического выключателя. В реальном мире, у автоматических выключателей есть разброс характеристик, даже у выключателей взятых из одной коробки. Поэтому на графике изображена область, в которой окажется характеристика случайно взятого автоматического выключателя.



В результате, если взять определенный ток, то мы получим диапазон значений времени, за которое сработает автоматический выключатель. От и до, как например вот здесь:



Думаю очевидно, что в расчетах стоит полагать, что нам попался самый плохой экземпляр, и берется самое худшее значение.

В автоматическом выключателе есть два расцепителя - тепловой, который достаточно точный, но медленный, и электромагнитный - очень быстрый, но неточный. (В посте (<https://serkov.su/blog/?p=5563>) я разбирал, как к такому пришли, и почему лучше пока ничего не придумали.) В итоге получается нелинейная зависимость времени срабатывания от протекающего тока. Для наглядности возьмем автоматический выключатель, на котором указан номинальный ток 16А. При перегрузке будет работать тепловой расцепитель:

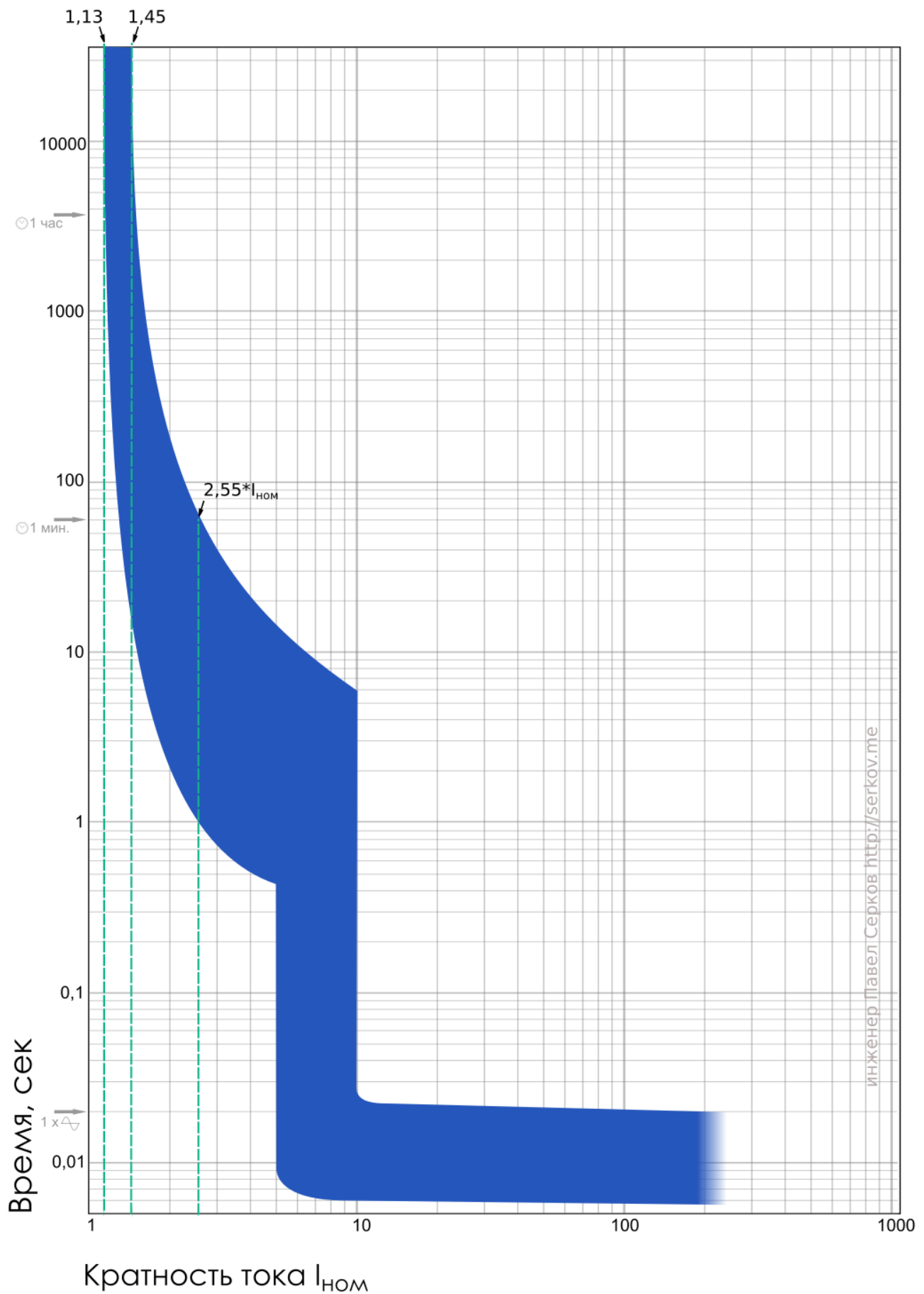
До тока в **1,13** от номинального, расцепления совсем не произойдет ($16 \cdot 1,13 = 18,08A$)

При токе в **1,45** от номинального тепловой расцепитель сработает, но за время менее 1 часа (!). ($16 \cdot 1,45 = 23,2A$)

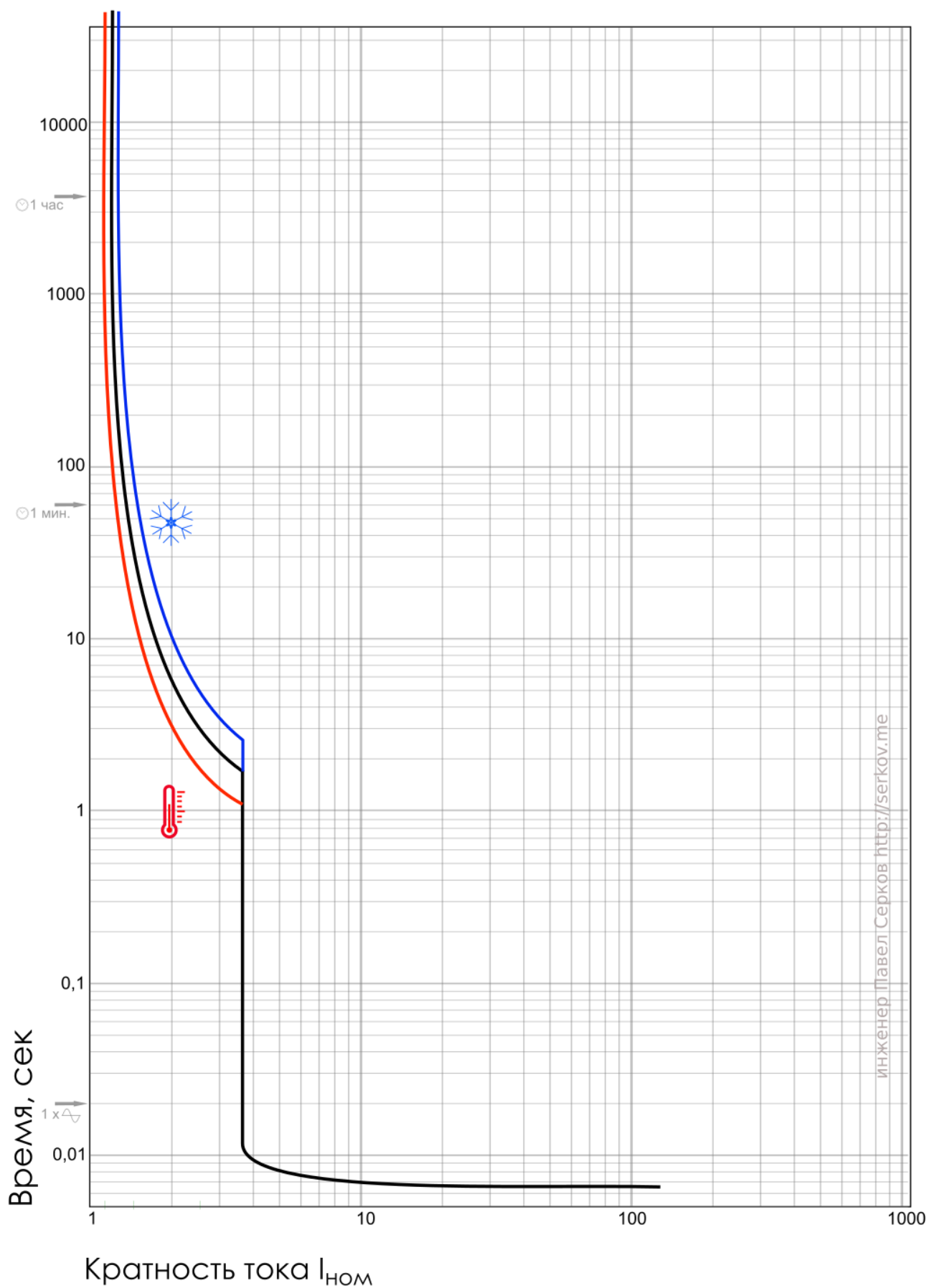
При токе в **2,55** от номинального тепловой расцепитель сработает за время менее 60 сек. ($16 \cdot 2,55 = 40A$)

При превышении тока еще сильнее - сработает электромагнитный расцепитель, но об этом чуть позже.

Все это становится понятнее, если взглянуть на график:



Откуда взялись эти магические цифры? Из стандарта (у нас в стране - ГОСТ 60898-1-220). Просто разработчики условились, что разброс параметров срабатывания расцепителей должны быть в этих пределах. Причем скорее всего взяли просто две удобные точки времени - 1 час и 1 минута, и воспользовались статистическими данными, чтобы получить кратности номинального тока.



Ну и чтобы совсем жизнь мёдом не казалась, стоит добавить, что в зависимости от температуры окружающей среды применяют коэффициенты. На жаре тепловой расцепитель прогревается и срабатывает быстрее, а вот на морозе наоборот.

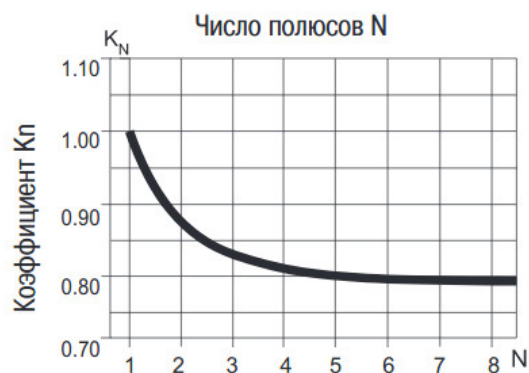


Рисунок 3



Рисунок 4

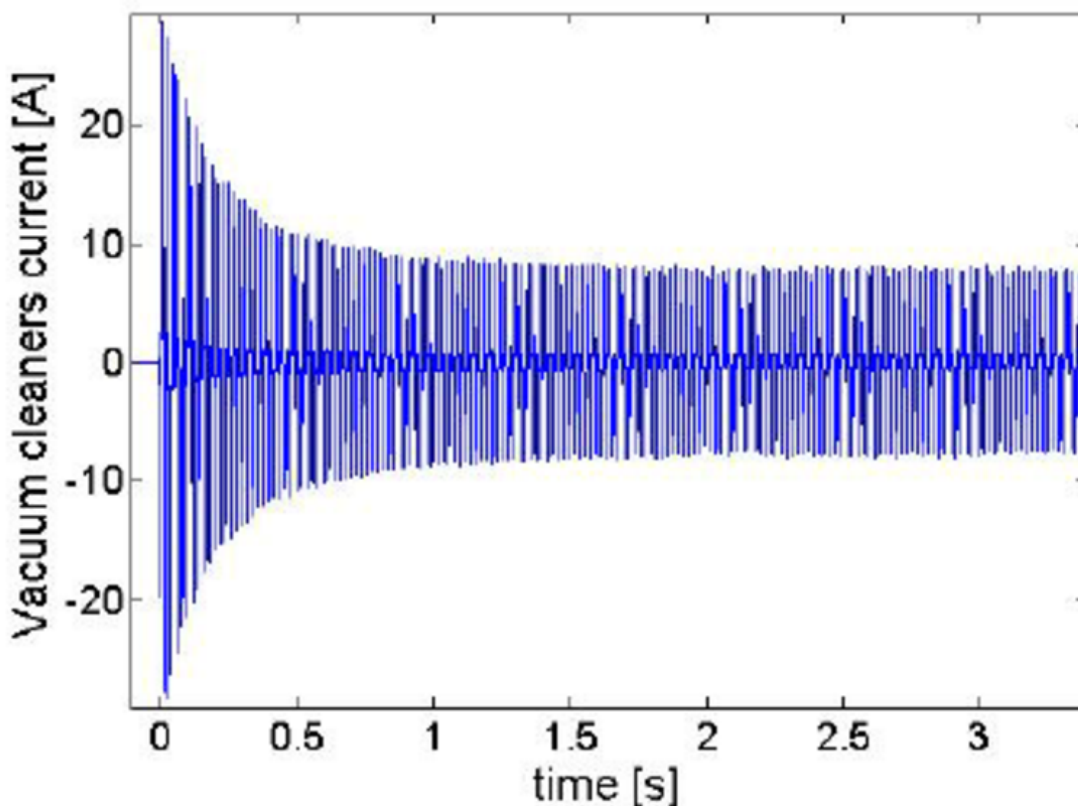
А теперь сценарий везунчика по жизни. В частный дом заходит кабель, сечением 1,5 мм². Щиток с автоматическим выключателем находится в холодном предбаннике, когда на улице мороз -35. Кабель от щитка идет через стену под слоем утеплителя. Автоматический выключатель на 16А почти час (!) будет пропускать ток в $(16 \cdot 1,45 \cdot 1,25)$ (поправочный на температуру, рис.4) = 29А. При 19А по табличке из ПУЭ у нас жилы будут горячими - +65С, а под слоем утеплителя изоляция уже начнет плавиться.

Еще раз резюмирую: **Номинальный ток автоматического выключателя НЕ РАВЕН предельно допустимому току кабеля.** Предельный ток кабеля должен вызывать отключение автоматического выключателя в адекватное время.

Тип электромагнитного расцепителя

Тепловой расцепитель медленный, что плохо при коротком замыкании - токи могут быть огромными, и даже за одну секунду могут наделать бед. Поэтому в конструкцию автоматического выключателя добавили электромагнитный расцепитель, который срабатывает за доли секунды. Но он настроен на ток в разы превышающий номинальный.

Дело в том, что некоторые виды потребителей при включении потребляют ток в разы, превышающий ток в рабочем режиме. Например мотор в пылесосе в момент включения кратковременно потребляет ток в 2-3 раза больший, но после разгона мотора, потребление снижается. Возможно вы замечали, как лампочки накаливания слегка притухают в момент включения чего-то как раз из-за этого. Вот график потребления тока мотора пылесоса:



Чтобы эти пусковые токи не заставляли сработать электромагнитный расцепитель, его характеристику сдвинули в зону БОЛЬШИХ токов, что бы такие кратковременные превышения тока были в зоне теплового расцепителя, который в силу своей инерционности такие краткосрочные процессы не замечает.

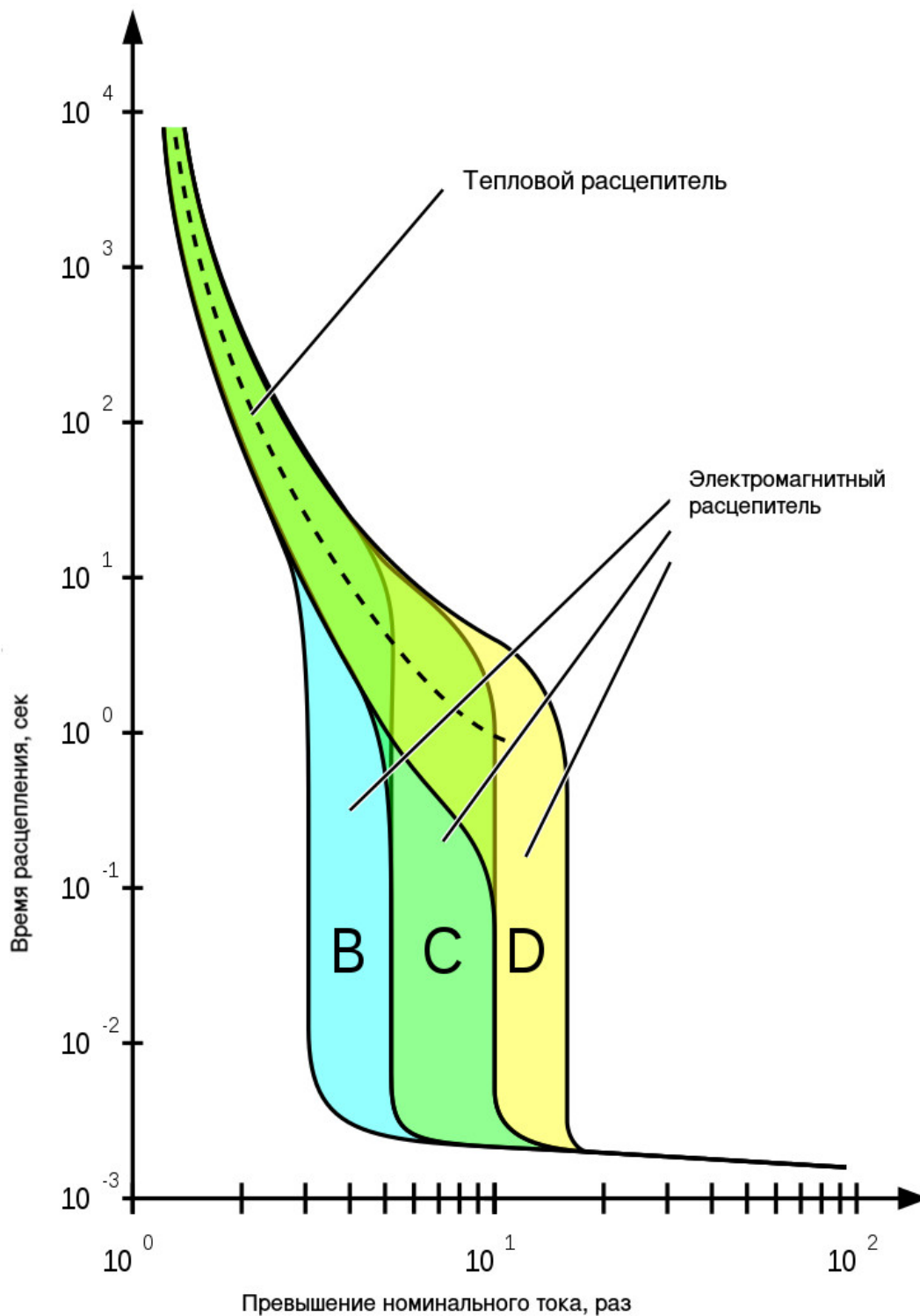
В итоге получилась линейка автоматических выключателей с одинаковыми тепловыми расцепителями, но с разными электромагнитными. Из-за огромного разброса параметров электромагнитных расцепителей - получились большие разбросы кратности тока срабатывания:

Характеристика **B** - электромагнитный расцепитель сработает при превышении тока в 3-5 раз

Характеристика **C** - электромагнитный расцепитель сработает при превышении тока в 5-10 раз

Характеристика **D** - электромагнитный расцепитель сработает при превышении тока в 10-20 раз

Вот они на графике:



Есть и другие характеристики (K, Z и т.д.) но встречаются крайне редко и под заказ, поэтому опустим их.

Если по какой-то причине стартовые токи кратковременно попадут в зону действия электромагнитного расцепителя то возможны ложные срабатывания. И именно для исключения таких ложных срабатываний и сделали несколько типов характеристик.

Некоторые производители для упрощения указывают стартовые токи, вот например светодиодный драйвер уважаемой фирмы при включении кушает солидные 55A (из-за зарядки конденсатора в блоке питания), производитель даже сразу посчитал, сколько светодиодных драйверов можно подключить параллельно на один автоматический выключатель:



35W Single Output Switching Power Supply

LPV-35 series



■ Features :

- Constant voltage design
- Universal AC input / Full range
- Withstand 300VAC surge input for 5 seconds
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage
- Cooling by free air convection
- Fully encapsulated with IP67 level (Note.9)
- Fully isolated plastic case
- Class II power unit, no FG
- Class 2 power unit
- Pass LPS
- Suitable for LED related fixture or appliance (such as LED Decoration or Advertisement devices)(Note.8)
- 100% full load burn-in test
- Low cost, high reliability
- 2 years warranty

IS 15885 (Part 2) Sec 13)

LPS IP67

R-41027766
(for 12V, 24V only)

c

us

EAC

CB

CE

SPECIFICATION

MODEL		LPV-35-5	LPV-35-12	LPV-35-15	LPV-35-24	LPV-35-36
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V	36V
	RATED CURRENT	5A	3A	2.4A	1.5A	1A
	CURRENT RANGE	0 ~ 6A (Note.7)	0 ~ 3A	0 ~ 2.4A	0 ~ 1.5A	0 ~ 1A
	RATED POWER	30W	36W	36W	36W	36W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±6.0%	±5.0%			
	LINE REGULATION	±1.0%				
	LOAD REGULATION	±4.0%	±2.0%			
INPUT	SETUP, RISE TIME Note.6	500ms, 20ms / 230VAC	500ms, 20ms / 115VAC at full load			
	HOLD UP TIME (Typ.)	50ms/230VAC	16ms/115VAC at full load			
	VOLTAGE RANGE Note.4	90 ~ 264VAC	127 ~ 370VDC			
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz				
	EFFICIENCY (Typ.)	77%	84%	84%	85%	85%
	AC CURRENT (Typ.)	1.1A/115VAC	0.7A/230VAC			
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 55A (width=510μs measured at 50% Ipeak) at 230VAC				
	MAX. No. of PSUs on 16A CIRCUIT BREAKER	4 units (circuit breaker of type B) / 7 units (circuit breaker of type C) at 230VAC				
PROTECTION	LEAKAGE CURRENT	0.25mA / 240VAC				
	OVERLOAD	110 ~ 150% rated output power				
		Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed				
		5.75 ~ 6.75V	13.8 ~ 16.2V	17.25 ~ 20.25V	27.6 ~ 32.4V	41.4 ~ 48.6V

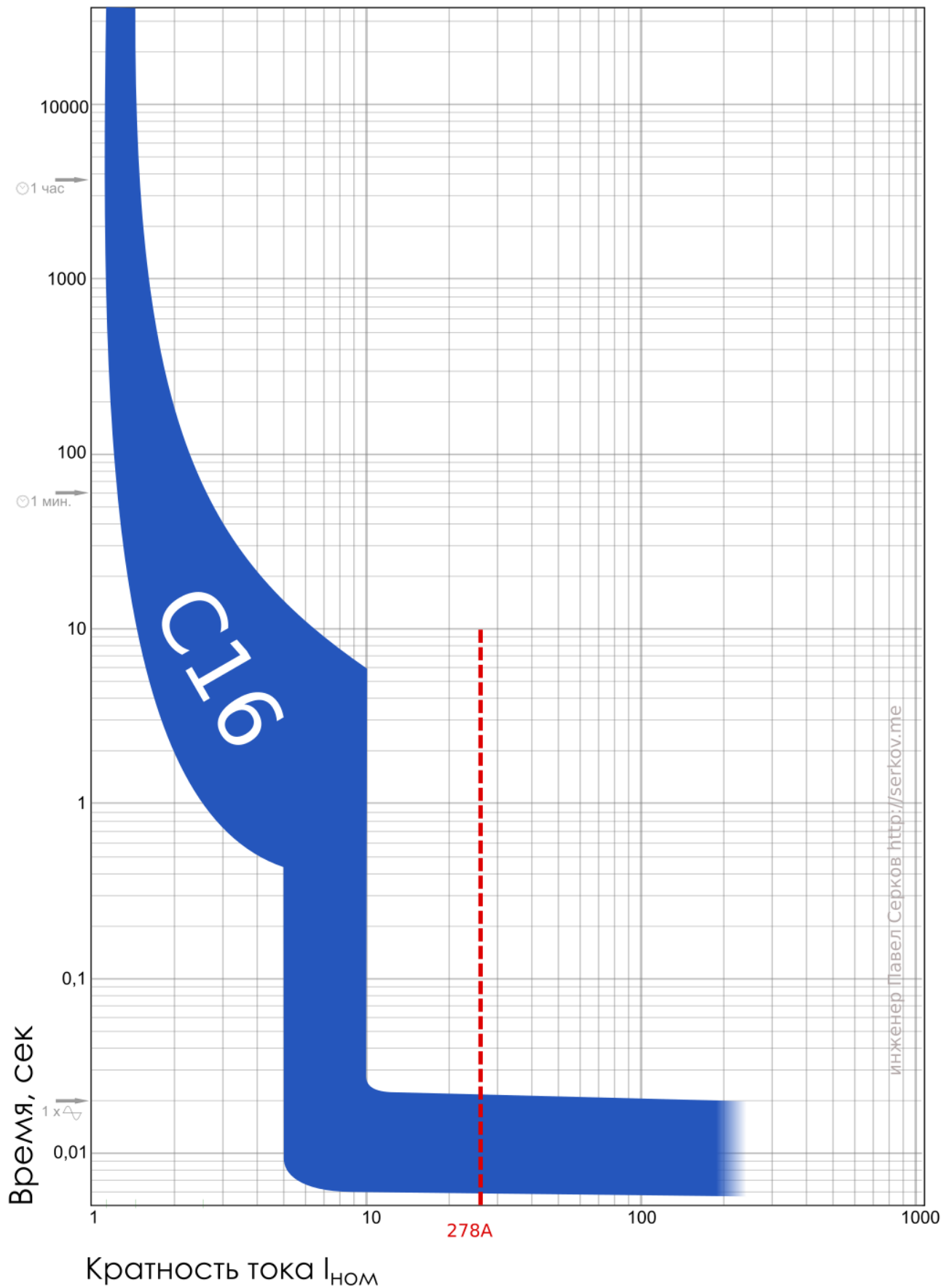
4 штуки с характеристикой В и 7 штук на автомат с характеристикой С. Кто бы мог подумать, что 150 ватт светодиодного света могут вышибать 16А автомат! Ситуация становится еще хуже, если используются некачественные светодиодные светильники, где производитель не только не предусмотрел плавный старт, да даже пусковой ток не регламентирует!

Если используется большое количество светодиодных светильников - то придется делить их на группы, чтобы одновременный пуск не вызывал срабатывание автоматического выключателя. Пылливый читатель задается вопросом - а почему бы не взять просто автоматический выключатель с характеристикой "С" или "D"? Тогда бы пусковые токи не вызывали бы ложных срабатываний! Но не все так просто....

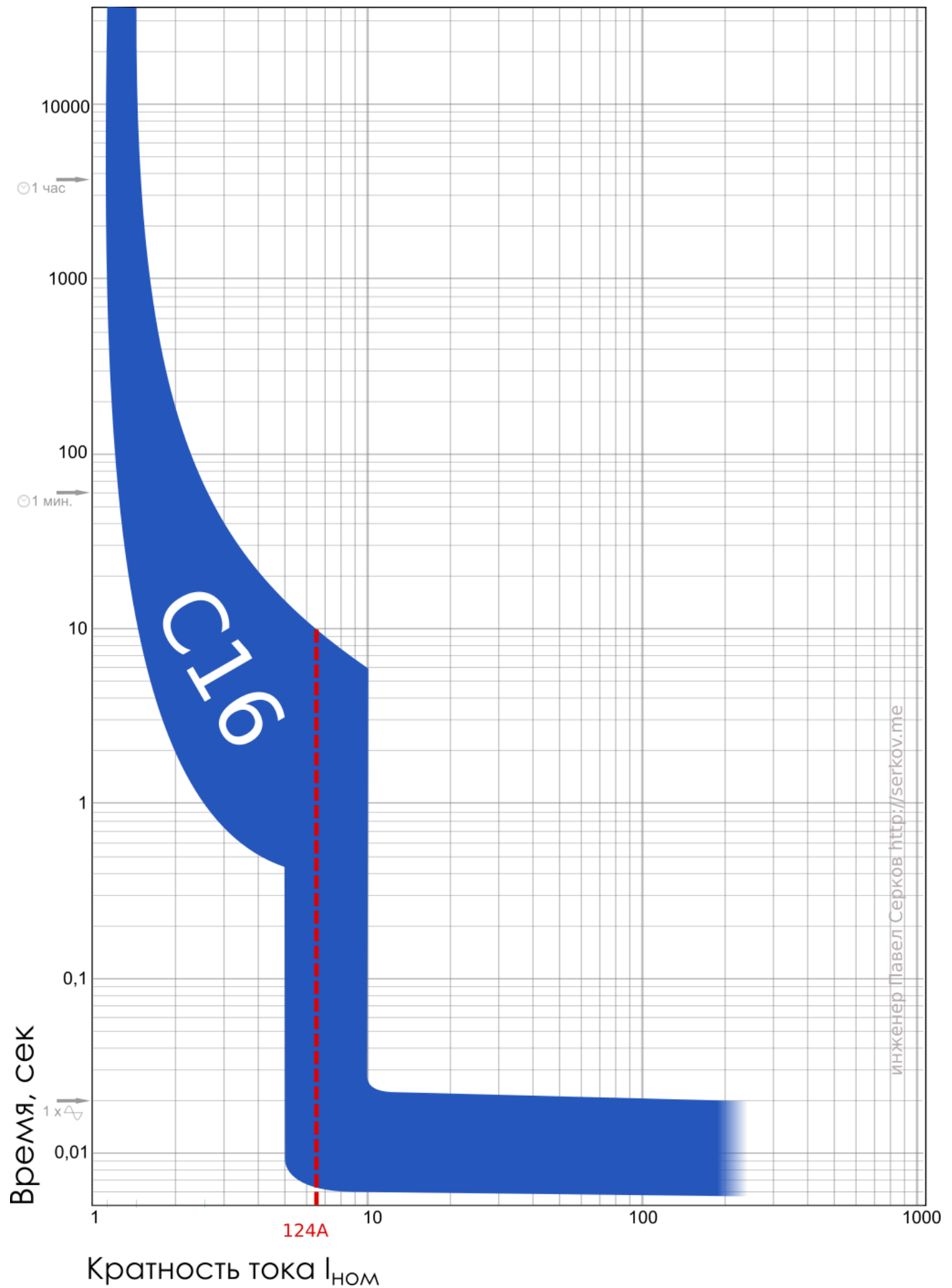
Ток короткого замыкания

Можно иногда услышать выражение "сопротивление цепи фаза-нуль", оно по сути про то же. Ток короткого замыкания - это величина тока в цепи, в случае если из-за повреждения случается короткое замыкание (прямое соединение фазного проводника и нейтрального, или соединение фазного и заземления) в самом дальнем участке. В идеальном мире с идеальными проводниками ток короткого замыкания был бы бесконечным. Но в реальном мире кабели имеют собственное сопротивление, и чем они длиннее тоньше - тем выше их собственное сопротивление. При обычной работе это не так важно - их собственное сопротивление много меньше сопротивления нагрузки. Но если случится короткое замыкание, ток будет ограничен именно этим собственным сопротивлением всех проводников в цепи + внутреннее сопротивление источника тока.

А теперь смотрим. В деревне Вилларибо измеренный ток короткого замыкания линии 278 Ампер, и электрик поставил автоматический выключатель С16:



Как видим все отлично - при коротком замыкании тока будет достаточно, чтобы электромагнитный расцепитель сработал. А вот в деревне Вилабаджо очень плохая проводка, и ток короткого замыкания всего 124 А. Смотрим на график:



В самом худшем случае, электромагнитный расцепитель типа "С" сработает при токе в 10 раз больше номинального ($16 \cdot 10 = 160A$). А значит при 124A возможна ситуация, когда электромагнитный расцепитель при коротком замыкании не сработает, а пока тепловой расцепитель успеет сработать - по линии будет гулять ток в 124A, что может закончиться плохо. В таком случае деревне Вилабаджо нужно или менять проводку, чтобы уменьшить потери, или использовать автоматический выключатель типа В16, у которого электромагнитный расцепитель сработает в худшем случае при токе $5 \cdot 16 = 80A$. Теперь вы понимаете, почему характеристика типа D ($10-20 \cdot I_{ном}$) в некоторых случаях изощренный способ стрелять себе в ногу?

Как же определить ток короткого замыкания? Для проектируемых линий его можно рассчитать - длина кабеля известна, сечение тоже. Для линий уже находящихся в эксплуатации - только измерять, поскольку никто не знает, на что пришлось пойти электрикам при ремонте поврежденных участков.

Для определения тока короткого замыкания есть специальные приборы. Показывать современные не интересно, поэтому покажу суровый советский олдскул, который есть у меня. М-417 измеряет сопротивление цепи путем измерения падения напряжения на известном сопротивлении, а ток короткого замыкания необходимо рассчитывать:



Щ41160, творение сумрачного советского гения. Устраивает короткое замыкание на доли секунды и измеряет ток непосредственно. В коричневой коробочке на проводе - предохранитель на 100A.:



Как правило, ток короткого замыкания измеряют при введении линии в эксплуатацию, и планово, раз в несколько лет. Только после измерения тока короткого замыкания можно сказать, правильно ли подобрана защита.

Ток короткого замыкания равен ...Oh shi....

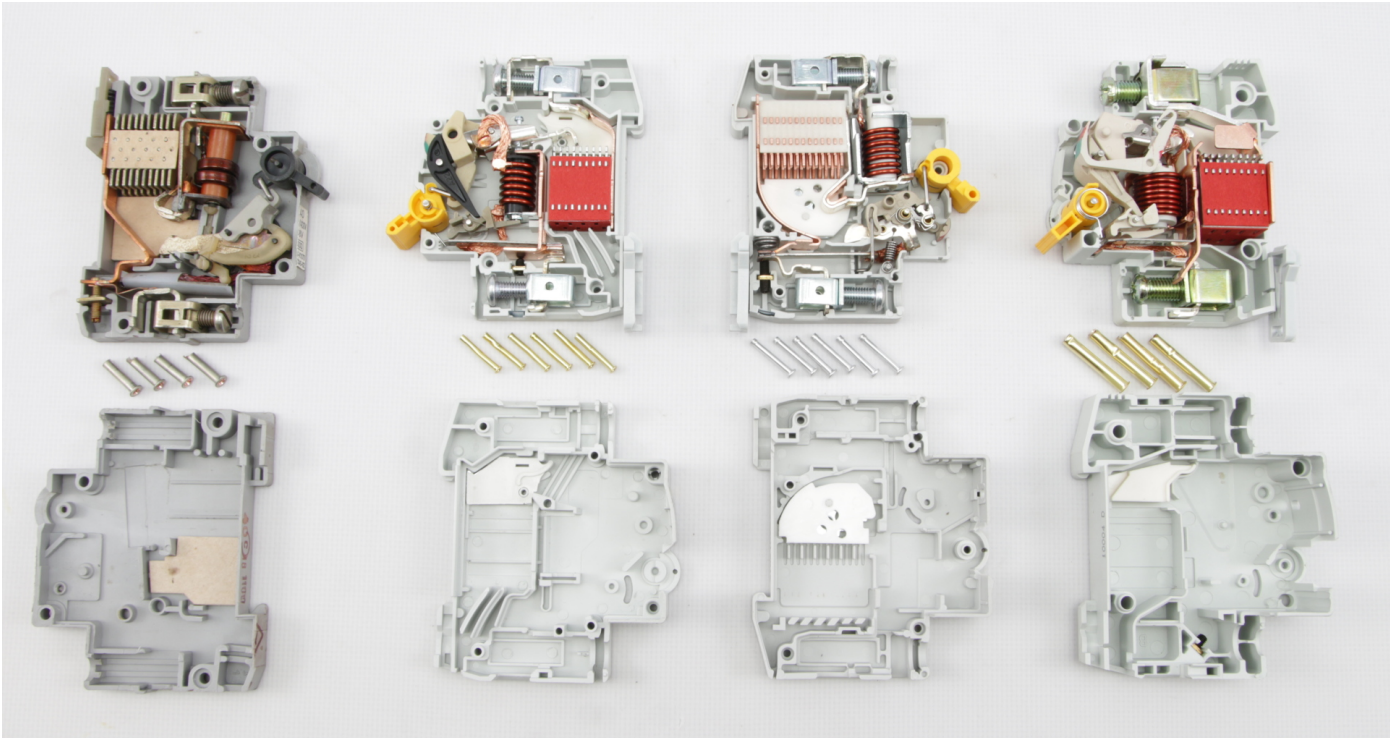
Если ток короткого замыкания будет чересчур большим? Вот тут мы сталкиваемся с отключающей способностью автоматического выключателя. В момент размыкания контактов выключателя загорается электрическая дуга, которая сама по себе проводит ток и гаснет неохотно. Для ее принудительного разрушения в конструкции автоматических выключателей предусмотрены дугогасительные камеры. Вот здесь на высокоскоростной съемке видно как работает дугогасительная камера:



На автоматическом выключателе в прямоугольной рамке нанесена величина отключающей способности в амперах - это максимальный ток, который способен разомкнуть автоматический выключатель без поломки. Вот на фото автоматические выключатели с отключающей способностью в 3000, 4500, 6000 и 10000 А:



Для наглядности я их разобрал. Большая отключающая способность заставляет не только делать дугогасительные камеры больше, но и усиливать другие конструктивные части, например защиту от прогара вбок.



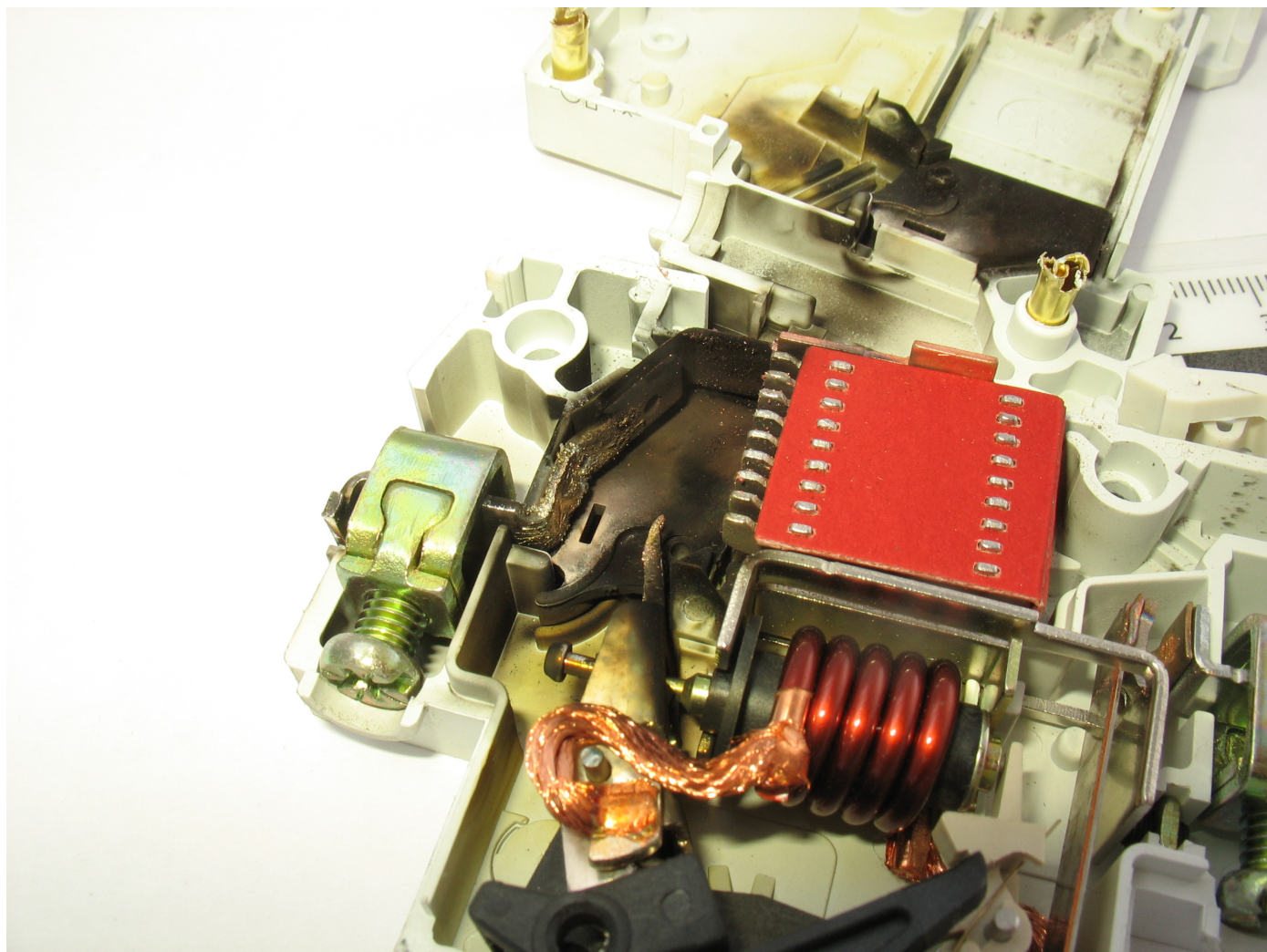
Отключающая способность автоматического выключателя должна быть больше тока короткого замыкания в линии. Как правило, 6000 А достаточно для большинства применений. 4500А обычно достаточно для работы в линиях старых домов, но может быть недостаточным в новых сетях.

Коммутационная стойкость

При каждом включении/отключении автомата меж контактов загорается дуга, которая постепенно разрушает контактную группу. Производитель часто указывает количество циклов включения/отключения, который должны выдержать контакты:

Приложения 1)	электромагнитный расцепитель	B	3 I _n : tcp≤0,1 с – без расцепления 5 I _n : tcp<0,1 с – расцепление
		C	5 I _n : tcp≤0,1 с – без расцепления 10 I _n : tcp<0,1 с – расцепление
		D	10 I _n : tcp≤0,1 с – без расцепления 20 I _n : tcp<0,1 с – расцепление
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее			20 000
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее			6000 ←
Класс защиты по ГОСТ IEC 61140			0
Степень защиты по ГОСТ 14254 (IEC 60529)			IP20

Отсюда легко видеть, что автоматический выключатель не замена нормальному выключателю при частом использовании. Если пожадничать, и вместо пускателя с контактором заставить сотрудника включать/отключать мешалку дергая автомат по 10 раз в день, то автомат может прийти в негодность менее чем за пару лет. Вот фото автоматического выключателя, контакты которого пришли в негодность из-за большого тока:



Помните, каждая коммутация и срабатывание автоматического выключателя "съедает" его ресурс.

Класс токоограничения

Наверное самая мистическая характеристика. Указывается в виде цифры в квадратике. Про нее в рунете написано мало и чаще ерунда. Класс токоограничения, если упрощать, говорит о количестве электричества, которое успеет пройти через автоматический выключатель при коротком замыкании прежде, чем он отключит цепь, и говорит о быстродействии. Всего классов три:

Annex ZA
(normative)

Classification of circuit-breakers into energy limiting classes

Circuit-breakers of B-type and C-type, when classified into energy limiting classes 1, 2, 3 in accordance with tables ZA1 or ZA2, as applicable, shall be marked with the number of the energy limiting class in a square adjoining the symbol given in f) of clause 6.

Table ZA.1 – Permissible Pt (let-through) values for circuit-breakers with rated current up to and including 16 A

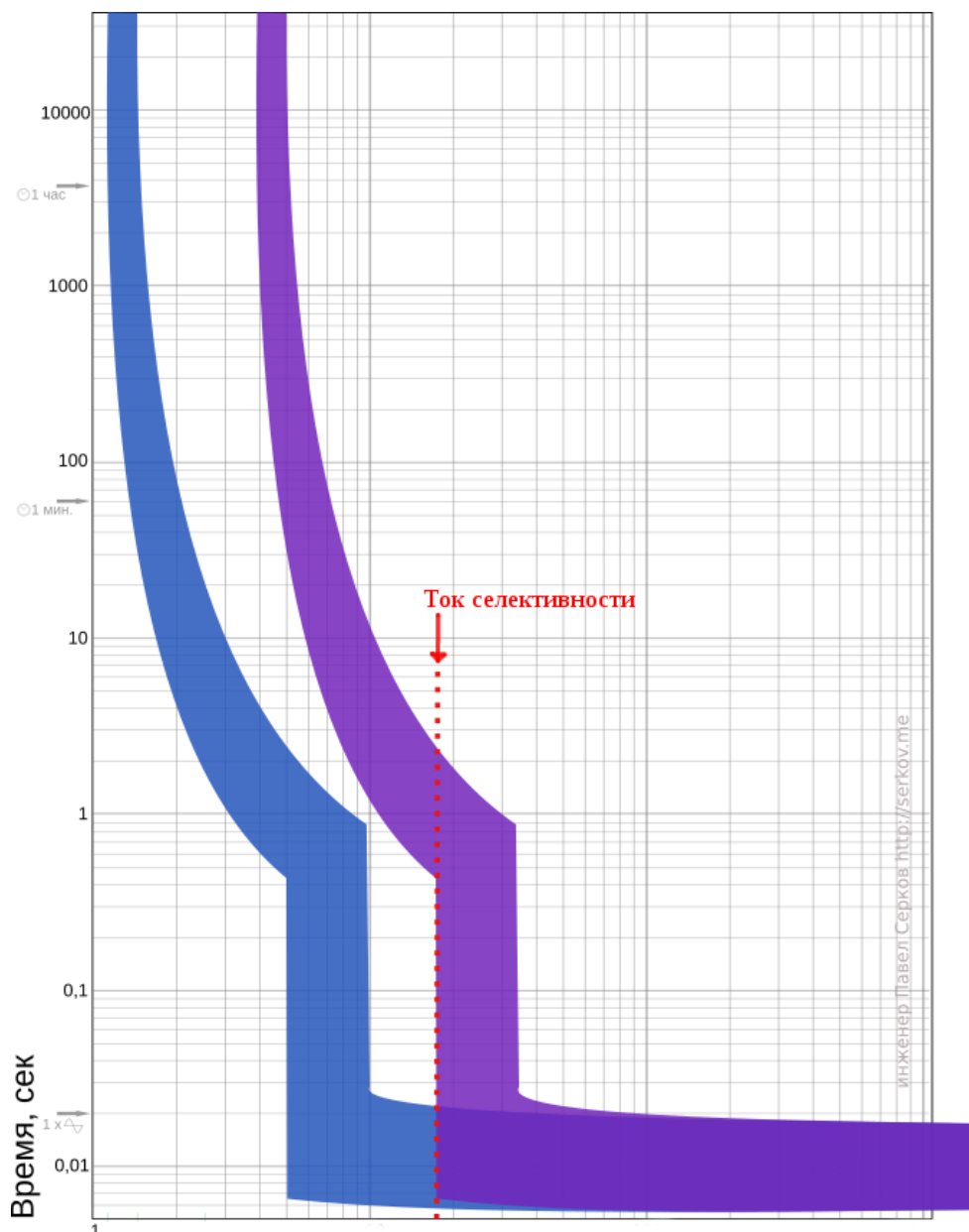
Rated short-circuit capacity (A)	Energy limiting classes				
	1	2		3	
	$Pt \text{ max}$ (A ² s)	$Pt \text{ max}$ (A ² s)		$Pt \text{ max}$ (A ² s)	
	B type and C type	B type	C type	B type	C type
3 000	No limits specified	31 000	37 000	15 000	18 000
4 500		60 000	75 000	25 000	30 000
6 000		100 000	120 000	35 000	42 000
10 000		240 000	290 000	70 000	84 000

Что интересно, отечественными стандартами класс токоограничения не регламентируется, поэтому на картинке выше нет кириллицы. Цифры в таблице - это величина интеграла Джоуля. Отечественные производители указывают класс просто потому что "так принято", а не того требуют отечественные стандарты :) В быту на данный параметр можно не обращать внимание - классы хуже третьего встречаются в продаже не часто.

Селективность

Вам бы не хотелось, чтобы при перегрузке или коротком замыкании срабатывал автоматический выключатель где-то на столбе у ввода в дом. При последовательном соединении автоматов защиты, подбором их характеристик можно добиться селективности - свойству срабатывать защите ближайшей к повреждению, без срабатывания вышестоящей. И у меня две новости.

Хорошая - можно воспользоваться специальными таблицами, которые есть у многих производителей, и подобрать пары автоматических выключателей, которые при перегрузке будут обеспечивать селективность. На графике это видно как непересекающиеся графики работы расцепителей:

инженер Павел Серков <http://serkov.me>

Но по графику вы могли понять, что плохая новость - обеспечить **полную** селективность автоматических выключателей при коротком замыкании затруднительно. Кривые пересекаются в области больших токов. Поэтому чаще всего речь о **частичной** селективности. Например, если синий график - автомат B10, а фиолетовый B40, то **ток селективности** составит 120А (значение взято из таблиц одного производителя для конкретной модели автоматов). То есть при токах меньше тока селективности - все отлично. При токах больше - сработать могут оба устройства защиты.

В бытовой серии модульных автоматических выключателей обеспечивать селективность, даже частичную, довольно трудно. Лишь большие и мощные устройства защиты, например на подстанциях, имеют тонкие настройки уставок расцепителей для обеспечения селективности с вышестоящими устройствами защиты.

Да скажи уже что ставить!?

Прежде всего то, что предусмотрено проектом.

Ну а если уж совсем среднестатистический случай с кучей оговорок, то:

Линия 1,5 мм² - Автомат B10 с отключающей способностью 6000А

Линия 2,5 мм2 - Автомат В16 с отключающей способностью 6000А

Применение автоматического выключателя с характеристикой "С" или "D" вместо "В" должно иметь вескую причину.

Плюшки

Автоматические выключатели разных производителей могут содержать разные приятности/полезности, которые напрямую на защитные функции не влияют, но могут быть полезны:

Это различные шторки/колпачки/крышечки для пломбирования вводного автомата по требованию электросетевой компании.

Это визуальный индикатор фактического состояния контактов, такой индикатор останется красным, если контакты из-за перегрузки сварились

Это окошки для дополнительных наклеек с электромагнитными расцепителями, контактами

Это дополнительное окошко у клемм для использования гребенки при подключении

и прочее и прочее.

Резюме

- Номинальный ток автоматического выключателя не равен предельно допустимому для кабеля!** В силу особенностей конструкции автоматический выключатель может длительное время пропускать через себя токи значительно больше номинальных и не отключаться.
- Разные типы электромагнитных расцепителей позволяют избежать ложных срабатываний, но использовать тип С, и в особенности тип D нужно понимая что к чему.
- Если ток короткого замыкания в вашей линии мал - то использование автоматического выключателя требует вдумчивого подхода.
- Если ток короткого замыкания в вашей линии огромен, то отключающая способность автоматического выключателя должна быть еще больше.
- А чтобы знать ток короткого замыкания, его нужно измерить специализированным прибором. И только после измерения можно сказать, будет ли правильно работать защита

Хочу сказать спасибо всем, кто принимал участие в рецензировании черновика. Буду рад указаниям на фактические ошибки в статье и ценным дополнениям.

Теги: электротехника, ликбез

Хабы: Научно-популярное

↑ +53 ↓ 141 12,3k 51 ➦ Поделиться

**607,6**

Карма

24,0

Рейтинг

Павел Серков @spiritus_sancti

Инженер