



Измеряем ток КЗ в квартире и на даче

Сегодняшняя статья — продолжение моей статьи, которая вышла в журнале №6 за прошлый год под интригующим названием «Ток короткого замыкания: размер имеет значение». Продолжаю рассказывать про ток КЗ. На этот раз — про то, как можно измерить этот важный параметр электросети при помощи измерительных приборов. Я проведу натурный эксперимент по измерению тока КЗ у себя в квартире и на даче. Расскажу не только про способы с применением профессиональной техники стоимостью десятки тысяч рублей, но и как это сделать при помощи обычного любительского мультиметра.

При эксплуатации электросети важно мониторить параметры ее качества, основной их которых — напряжение. Об этом я писал в одном из прошлых номеров журнала. Как известно, чтобы узнать напряжение, нужен вольтметр. Но и без него можно легко узнать, что с напряжением что-то не так — например, по тусклому свечению лампочек (в случае низкого напряжения) либо по перегоранию электроприборов при повышенном напряжении.

С током короткого замыкания не все так просто — его значение может «гулять», и это не будет особо заметно. А проявится это в самый неподходящий момент — например, когда при замыкании электропроводки не сработает автоматический выключатель. Поэтому рекомендуется проверять ток КЗ периодически — перед проектированием электрощита, после ввода электропроводки в эксплуатацию, а затем — раз в год.

В любом измерении тока КЗ нужно понимать, что измеренный или расчетный ток КЗ относится только к конкретной точке электросети, применительно к которой производится измерение и расчет. Невозможно предугадать, в каком месте состоится замыкание, поэтому обычно измерения проводят в двух местах — в электрощите и самой удаленной от него точке.

Плохую службу может послужить тот факт, что ток КЗ является величиной непостоянной, зависящей от многих факторов. Например, ток КЗ в отдельно взятой розетке может меняться от событий, которые практически не поддаются фиксации:

- замена питающего трансформатора на ТП;
- замена любого участка электрической сети, в том числе высоковольтного;
- изменение состояния защитного и коммутационного оборудования (рубильники, автоматические выключатели);
- увеличение или уменьшение напряжения в точке КЗ, которое может происходить по нескольким причинам;
- ухудшение или улучшение контакта (изменение переходного сопротивления) в любой точке сети — от клемм трансформатора до клемм нашей розетки;
- ухудшение контакта (вплоть до полного обрыва) нейтрального проводника.

Косвенно о низком токе КЗ можно сказать и без приборов, опираясь на такие факты:

- удаленность от трансформаторной подстанции;
- низкая мощность трансформатора;
- нестабильность напряжения в зависимости от времени суток или при включении мощных электроприборов.

Чем плох и хорош низкий и высокий ток КЗ, я подробно рассмотрел в первой части статьи.

Зачем нужно знать ток КЗ?

Ток КЗ — это максимально возможный ток в определенной точке сети. Этот параметр определяет качество электропроводки в целом. Зная значение ожидаемого тока короткого замыкания, можно:

- оценить способность установленных автоматических выключателей обеспечить защиту при коротком замыкании;
- оценить селективность разных уровней защиты;
- проверить сопротивление заземляющего устройства (качество контура системы заземления).

Подробнее вопросы селективности и выбора автоматических выключателей будут рассмотрены в следующей статье.

Как измеряется ток КЗ при помощи приборов

Есть старый, «дедовский» способ измерения тока КЗ — с использованием понижающего трансформатора, амперметра и вольтметра. Далее нужен расчет по формулам.

Есть и другой, экстремальный способ — подключают амперметр и вручную создают короткое замыкание, замыкая цепь. Это не наш метод — мало того, что он неточен, но при таком «измерении» электросеть подвергается экстремальной нагрузке. К тому же не факт, что защита выбрана правильно, поэтому можно просто-напросто сжечь электропроводку.

Я в школьные годы решил как-то проверить «ток в розетке» этим методом, и воткнул свой новенький тестер в режиме амперметра в розетку. Результат — в доме выбило «пробки», в тестере сгорел шунт, а я получил бесценный опыт.

Сейчас большинство приборов вычисляют полное сопротивление петли «фаза-ноль», а затем автоматически пересчитывают полученное значение в ток КЗ. Делается это методом падения напряжения, подключая к точке измерения нагрузку (резистор) известного сопротивления. Номинал резистора обычно равен 10 Ом, время измерения — 30 мс (полтора периода напряжения). Такое измерение не перегружает сеть, и в то же время обеспечивает максимальную точность, не вызывая срабатывания автоматических выключателей

— тепловой расцепитель за такое время не успеет сработать, а электромагнитному не хватит величины испытательного тока.

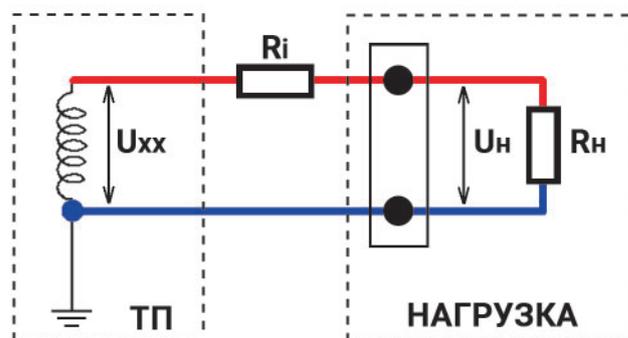
При этом ток КЗ измеряется во всех вариантах, где он может возникнуть: «фаза-нейтраль», «фаза-защитное заземление», «фаза-фаза».

Чтобы правильно провести измерения тока КЗ при помощи приборов, нужно обладать достаточной квалификацией, и внимательно изучить инструкцию к прибору. Например, необходимо учитывать сопротивление измерительных проводов. Важен и тот факт, что полученное значение тока КЗ нужно пересчитать под реальное напряжение в сети.

Измерение тока КЗ. Выводим формулы

Итак, самый распространенный метод измерения тока КЗ — метод падения напряжения, который мы сейчас и проверим на практике. Этот метод — косвенный, то есть итоговое значение получается путем измерения некоторых параметров с дальнейшими расчетами по формулам. Эти формулы мы сейчас и получим. Конечно, не без помощи нашего немецкого коллеги, о котором мы знаем из уроков физики.

Для начала — несколько пояснений. Предлагаю условиться, что розетка — это источник напряжения, обладающий внутренним сопротивлением R_i . Это сопротивление фактически является сопротивлением цепи «фаза-ноль». Также для простоты изложения условимся не учитывать реактивную составляющую, т. е. принимаем $\cos \varphi = 1$. Таким образом, получаем такую схему, к которой можем применить закон Ома для полной цепи:



Иными словами, получаем резистивный делитель напряжения, напряжение на его выходе всегда ниже, чем на входе. Сопротивление R_i «олицетворяет» собой все сопротивления, которые встречаются на пути электроэнергии — от сопротивления обмоток трансформатора на подстанции (ТП) до переходного сопротивления клемм розетки, через которые подключается нагрузка с сопротивлением R_n .

Напряжение U_{xx} — это напряжение холостого хода, которое будет действовать на вторичной обмотке трансформатора, когда нагрузка не подключена. U_n — напряжение на нагрузке, которое всегда меньше U_{xx} . В расчетах будет фигурировать и номинальное напряжение $U_{ном}$, которое обычно бывает равным 220 или 230 В.

Наша задача — рассчитать ток короткого замыкания $I_{кз}$, который равен току, протекающему через внутреннее сопротивление источника питания R_i , при напряжении холостого хода U_{xx} и нулевом сопротивлении нагрузки ($R_n = 0$, $U_n = 0$). Таким образом, наша основная формула будет иметь такой вид:

$$I_{кз} = \frac{U_{xx}}{R_i} \quad (0).$$

Напряжение холостого хода легко узнать — оно измеряется вольтметром, когда вся нагрузка на данной линии отключена.

Напряжение холостого хода U_{xx} — это наибольшее значение напряжения, которое в принципе может быть в розетке. Конечно, за исключением аварийных режимов.

Теперь дело за малым — определить внутреннее сопротивление источника (сопротивление петли «фаза-ноль») R_i . Это можно сделать тремя способами, про которые я сейчас расскажу.

Расчет петли «фаза-ноль» через ток нагрузки

Сопротивление R_i теоретически не зависит от приложенного к нему напряжения. Поэтому, мы можем измерить ток нагрузки I_n и напряжение на R_i не в момент короткого замыкания, а при подключении нагрузки с ненулевым сопротивлением. А затем применить закон Ома:

$$R_i = \frac{U_{xx} - U_n}{I_n} \quad (1).$$

Ток нагрузки можно измерить двумя способами — при помощи амперметра (прямого включения или через трансформатор тока) и применяя токоизмерительные клещи. Амперметр дает более точное измерение, клещи — более оперативное. Я использовал клещи, но можно применить и амперметр, встроенный в мультиметр.

Расчет петли «фаза-ноль» через сопротивление нагрузки

Вторую формулу можно получить, составив уравнение пропорциональности между сопротивлениями R_i и R_n , и напряжениями на них.

Получаем:

$$R_i = \frac{U_{xx} - U_n}{U_n} \cdot R_n \quad (2).$$

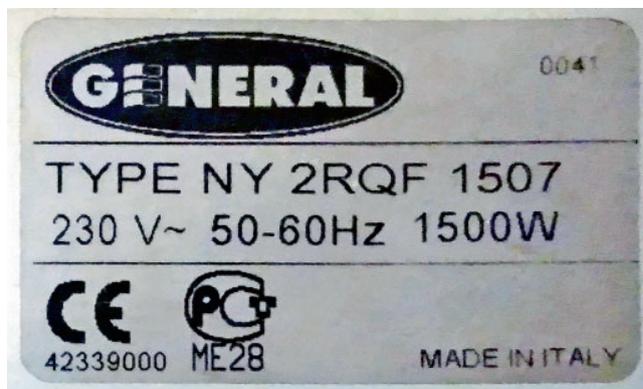
Чтобы использовать формулу (2), нужно предварительно измерить сопротивление нагрузки при помощи омметра. Поскольку мы условились, что реактивную составляющую мы не учитываем, нагрузка обязательно должна быть активной. Я использовал масляные обогреватели — их сопротивление чисто активное, и не зависит от напряжения и наличия питания. Как вариант, в качестве нагрузочного сопротивления можно использовать утюг или электрочайник.

Расчет петли «фаза-ноль» через мощность нагрузки

Составляющие закона Ома зависят от номинальной мощности нагрузки $P_{ном}$, поэтому путем нехитрых манипуляций получаем следующую формулу:

$$R_i = \frac{U_{ном} (U_{xx} - U_n)}{P_{ном}} \quad (3).$$

Чтобы проводить расчеты по формуле (3), нужно знать номинальное напряжение (обычно 220 или 230 В) и мощность нагрузки. Обычно их приводит производитель. Вот фото шильдика нагревателя с $U_{ном} = 230$ В и $P_{ном} = 1500$ Вт:



Забегая вперед, скажу, что этот способ — наименее точный, поскольку производитель может писать любые данные, преследуя маркетинговые или другие цели.

Теперь, рассчитав значение R_i наиболее удобным способом по формулам (1), (2) или (3), можно найти ток короткого замыкания по формуле (0) даже в домашних условиях. Чем мы наконец-то и займемся.

Измерение тока КЗ в квартире

Трансформаторная подстанция, которая питает мой дом, находится на расстоянии около 30 м до моего подъезда, плюс подъем на 5-й этаж и разводка по квартире. То есть, длина питающей линии

сравнительно невелика. Мощность трансформатора на ТП — 400 кВА.

Результаты измерений, в которых участвовал обогреватель с паспортной мощностью 1500 Вт, приведены в таблице:

| U _{xx} , В | U _n , В | R _n , Ом | I _n , А | U _{ном} , В | P _{ном} , Вт |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 232 | 224 | 39 | 6,1 | 230 | 1500 |

Далее, используя формулы (1), (2) и (3), я рассчитал сопротивление петли «фаза-ноль» R_i в трех вариантах. Соответствующие токи I_{кз} посчитаны по формуле (0):

| Формула | R _i , Ом | I _{кз} , А |
|---------|---------------------|---------------------|
| (1) | 1,31 | 176,90 |
| (2) | 1,39 | 166,56 |
| (3) | 1,23 | 189,13 |

Измерения я проводил в самой дальней от электрошита розетке, благо она сдвоенная, поэтому напряжение на нагрузке измерять было легко, без использования тройников и переносок. Как видно, три формулы дали три разных результата. Это нормально, поскольку методики измерения и погрешности разные. В бытовых условиях при использовании непроверенных средств измерений погрешность оценить проблематично. Но оценить значение тока КЗ можно вполне.

Из трех значений правильно выбрать наихудшее — наименьший ток КЗ составил 166 А. Этот расчет я делал исходя из измерения сопротивления нагрузки омметром. Считаю этот способ наиболее точным.

Что означает это значение? Это означает, что я правильно сделал, когда поменял все квартирные автоматы на 25 А, которые стояли от застройщика с 1979 года, на автоматы с номинальным током 16 А. Обладая характеристикой отключения «С», они с некоторой вероятностью отключат свою линию при токе КЗ от 80 до 159 А, а при сверхтоке более 160 А вероятность отключения равна 100%. Поэтому ток КЗ 166 А можно считать в данном случае достаточным.

Откровенно говоря, я ожидал большего значения тока КЗ. Ведь по правилам (ПТЭЭП, п. 28.4) должен быть запас 10%, а для моего автоматического выключателя это 176 А. Я подробно рассказывал об этом в предыдущей статье. Можно успокоиться тем, что

другие методы измерения дали абсолютно приемлемые результаты (176 и 189 А).

Измерение тока КЗ в дачном домике

Несмотря на то, что недавно домик подключили от воздушной линии через новый провод СИП, я не питаю особых иллюзий — длина линии до квартального трансформатора — более 150 м, а его мощность — всего 63 кВА.

Для нагрузки я использовал два масляных обогревателя, включенных через переноску (длина 3 м, сечение провода 1,5 мм²) с тройной колодкой. Что получилось в этом случае:

| U _{xx} , В | U _n , В | R _n , Ом | I _n , А | U _{ном} , В | P _{ном} , Вт |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 213 | 186 | 16,5 | 11,6 | 230 | 3500 |

Расчеты:

| Формула | R _i , Ом | I _{кз} , А |
|---------|---------------------|---------------------|
| (1) | 2,33 | 91,51 |
| (2) | 2,40 | 88,93 |
| (3) | 1,77 | 120,05 |

Видим, что нужный (наименьший) результат опять получен методом измерения сопротивления нагрузки — 88 А. Много это или мало? В данном случае — очень мало, учитывая то, что у меня на даче установлены автоматические выключатели С16. Даже для третьего способа со значением тока КЗ 120 А данный автомат не даст гарантии срабатывания при КЗ (вероятность будет около 50%).

А это не просто цифры — это вероятность возникновения пожара! Ведь выключение в случае КЗ будет только по тепловому расцепителю, а длиться это может несколько минут, согласно времятоковой характеристике.

Что ж, нужно заменить автоматические выключатели на другие — с номиналом 16 А и характеристикой отключения «В», которые при токе 80 А гарантированно отключат аварийную розетку. И запас в 10% будет обеспечен!

На этом все — измерения, расчеты и выводы я сделал. В следующей части раскроем более глобальный аспект данной темы — обеспечение селективности защиты в электрических цепях.

Ознакомиться с полной версией статьи и обсудить тему можно будет на сайте www.samelectric.ru.

Текст: Александр ЯРОШЕНКО,
автор блога SamElectric.ru